



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

UKÁZKOVÝ PANEL FUNKCE DETEKTORU OBLOUKU

A SAMPLE ARC DETECTOR PANEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Pala

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Kadlec, Ph.D.

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Lukáš Pala

ID: 195407

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Ukázkový panel funkce detektoru oblouku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Upravte generátor sériové poruchy.
2. Navrhněte výstupní parametry transformátoru pro ukázkou zkratové spouště ochranných prvků.
3. Navrhněte a sestavte řídicí obvody pro ukázkový panel.
4. Přístroje sestavte a otestujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ČSN EN 62606: Obecné požadavky na obloukové ochrany. Praha: ÚNMZ, 2014.

[2] Aplikační příručka Obloukové ochrany AFDD [online]. Letohrad: OEZ, 2019 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/file/869/download/>

[3] KADLEC, Radim a Miroslav STEINBAUER. Bezpečná elektrotechnika. Brno: VUT FEKT, 2015.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 22.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Radim Kadlec, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

V úvodu práce jsou probrány vzniky výbojů v sítích nn, následované zhodnocením výsledků ověřovacích měření s přístrojem AFDD. Pro potřeby panelu je vyvinut generátor sériového oblouku s důrazem na snadnou manipulaci a bezúdržbovost. Je popsáno technické řešení pro bezpečnou simulaci poruch na panelu a konstrukce jednotlivých funkčních součástí prezentačního panelu. Přílohou této práce jsou schémata zapojení silových částí panelu a elektroniky.

Klíčová slova

Elektrický oblouk, simulace poruch v síti nn, prezentační panel, vznik obloukových poruch v síti nn, AFDD, proudový chránič, jistič, kombinovaný chráničo-jistič, jiskřiště, generátor oblouku

Abstract

In the introduction an electric arcs creation in low voltage networks is discussed, followed by evaluation of verification measurements with AFDD. A serial arc generator is designed in accordance with easy manipulation and low maintenance requirements. Technological solution for safe fault simulation is described similarly as particular function sections of demonstration panel. Schematic diagrams of power and electronic circuits are attached.

Keywords

Electric arc, simulation of LV network faults, demonstration panel, creation of LV network arc-faults, AFDD, residual current device, miniature circuit breaker, residual-current circuit breaker with overcurrent protection, spark gap, electric arc generator

Bibliografická citace:

PALA, Lukáš. Ukázkový panel funkce detektoru oblouku [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/120051>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Radim Kadlec.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma Ukázkový panel funkce detektoru oblouku jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne **15. května 2019**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Radimu Kadlecovi, Ph.D. z Ústavu teoretické a experimentální elektrotechniky (UTEE) za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc, cenné rady a věnovaný čas při zpracování mé bakalářské práce.

Děkuji panu Ing. Jiřímu Valentovi, Ph.D. z Ústavu výkonové elektrotechniky a elektroniky (UVEE) za umožnění zkušebních měření s přístrojem AFDD ve zkušebně.

Děkuji panu Ing. Petru Slavatovi za námět bakalářské práce a firmě Eaton Elektrotechnika s.r.o. a jejím manažerům za poskytnutí přístrojů a materiálu pro praktickou část práce.

V Brně dne **15. května 2019**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Vznik výbojů v obvodech nn	2
2.1	Spotřebiče při normálním provozu.....	2
2.2	Spínače při změně stavu.....	4
2.3	Svodiče přepětí s jiskřištěm	5
2.4	Pojistky.....	5
2.5	Poruchový oblouk	5
3	Ochranné prvky v sítích nn.....	8
3.1	Jističe.....	8
3.2	Proudové chrániče	10
3.2.1	Chráničojističe	12
3.3	Obloukové ochrany	12
4	Měření s přístrojem AFDD	13
4.1	Simulace paralelní obloukové poruchy	16
5	Generátor obloukové poruchy	18
5.1	Způsob generování oblouku.....	18
5.2	Elektrody	19
5.3	Automatizace provozu	21
5.4	Odladěná konstrukce jiskřiště	21
5.5	Jiskřiště s dávkovaným vodivým roztokem	26
6	Technické řešení panelu.....	28
6.1	Koncept panelu.....	28
6.2	Simulace poruch.....	29
6.2.1	Zkrat.....	30
6.2.2	Nebezpečný dotyk.....	32
6.2.3	Sériový poruchový oblouk.....	34
6.3	Ovládače, stykače a signalizace	35
6.3.1	Spínače, přepínače	35
6.3.2	Stykače.....	36
6.3.3	Řídící PLC	39
6.3.4	Signalizace a řízení osvětlení.....	39
6.4	Napájení, jištění, EMI filtr	40
6.5	Bezpečnost	40
6.6	Mechanické části	42
6.7	Design	42
7	Dokumentace	43
8	Závěr	45
	Literatura.....	47

Seznam symbolů, veličin a zkratk.....	48
Seznam odkazovaných norem	50
Seznam příloh	51

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Typy obl. poruch: a) paralelní L-N, b) paralelní L-PE, c) sériová v L nebo N ..	7
Obr. 3.1 Vypínací charakteristiky typu B, C, D jističe Eaton řady PL7 [4]	9
Obr. 3.2 Vypínací charakteristika proudového chrániče [4].....	11
Obr. 4.1 Zkoušený přístroj AFDD [10]	13
Obr. 4.2 Vypínací charakteristika výrobce [5] s naměřenými body a výsledky	14
Obr. 4.3 Detail průběhu veličin v obvodu při zkoušce s proudem $I_{ef} = 57 \text{ A}$	15
Obr. 5.1 Náskres uspořádání elektrod jiskřiště s pohonem	20
Obr. 5.2 Makroskopický princip vzniku výbojů mezi elektrodami	20
Obr. 5.3 Experimentální generátor sériové poruchy	21
Obr. 5.4 Upravené jiskřiště pro použití na panelu	22
Obr. 5.5 Upravené jiskřiště při zátěži 10 A bez použití AFDD	22
Obr. 5.6 Průběhy na odladěném jiskřišti	24
Obr. 5.7 Průběhy na odladěném jiskřišti - detail	24
Obr. 5.8 Jiný průběh - snížení napětí	25
Obr. 5.9 Jiný průběh - snížení napětí, detail	25
Obr. 5.10 Konfigurace elektrod s roztokem	27
Obr. 5.11 Obloukový výboj mezi elektrodami s roztokem při průchodu proudem.....	27
Obr. 5.12 Zbytkové výboje po odpaření vody mezi elektrodami	27
Obr. 6.1 Výřez z listu výkresu desky s návrhem přední strany panelu.....	29
Obr. 6.2 Schéma ukázkové linie při simulaci zkratu	31
Obr. 6.3 Schéma ukázkové linie při simulaci nebezpečného dotyku	33
Obr. 6.4 Repasovaný voltmetr s novou stupnicí	34
Obr. 6.5 Triakový měnič bez chladiče rezistorů	34
Obr. 6.6 Schéma ukázkové linie při simulaci sériového oblouku	35
Obr. 6.7 Průběhy při simulaci zkratu s vyrovnávací impedancí	38
Obr. 6.8 Průběhy při simulaci zkratu bez vyrovnávací impedance	38
Obr. 7.1 Osazená deska elektroniky pro řízení LED pásků - strana BOTTOM	43
Obr. 7.2 Osazená deska elektroniky pro řízení LED pásků - strana TOP	43
Obr. 7.3 Fungující pracovní zapojení panelu v laboratoři bez elektronických obvodů..	44
Obr. 7.4 Náhled programovacího softwaru easySoft.....	44

Seznam tabulek

Tab. 4.1 Parametry zkoušeného přístroje AFDD.....	13
---	----

1 ÚVOD

Problematika obloukových ochran AFDD je posledních několik let často skloňovaným tématem od doby uvedení prvních takových instalačních přístrojů na český trh. Oproti rozšířeným znalostem o základních ochranných prvcích jako jsou pojistky, jističe a proudové chrániče, se nabízí výrobcům možnost k pořádání odborných seminářů a školení se zaměřením právě na tuto problematiku. Ve spolupráci s firmou Eaton Elektrotechnika s.r.o. byla zadána tato bakalářská práce s cílem navrhnout ukázkový panel podle požadavků firmy, který bude názorně představovat schopnosti různých ochranných instalačních přístrojů používaných v domácnosti, především jejich reakce na poruchy vyskytující se v obvodech nn. Kvůli primárně prezentační funkci jsou mechanické i elektrické části navrhovány s ohledem na bezpečnost, spolehlivost, design a odolnost při převozu. Vzhledem k dodatečně vzneseným požadavkům na konstrukci panelu a kvůli následnému časovému skluzu bude panel smontován až po obhajobě této práce.

2 VZNIK VÝBOJŮ V OBVODECH NN

Elektrický oblouk je známý již od začátku 19. století, kdy současně prováděli experimenty ruský fyzik a elektrotechnik Vasilij Vladimírovič Petrov (1761-1834) a anglický chemik a fyzik Sir Humprey Davy (1778-1829). Jejich objevy byly následně prakticky využity při umělém osvětlování obloukovými lampami (Jabločkov – 1876, Křižík – 1878). [1]

S rozvojem elektrifikace a nárůstem přenášených výkonů v rozvodech se elektrický oblouk projevoval stále větší mírou i v zařízeních jako jsou např. spínače nebo komutátorové motory, tedy zařízení, jejichž funkce není založena na existenci elektrického oblouku, který je v nich nežádoucí a omezuje jejich životnost.

Obecně lze EZ s přítomností elektrických oblouků rozdělit na tři základní skupiny podle parazitnosti výskytu:

- zařízení funkčně založená na fyzikálních vlastnostech oblouku (obloukové lampy, pece, svářečky, svodiče přepětí, jiskřiště,...)
- zařízení pracující na jiném principu, oblouk se zde objevuje parazitně, ale okolí je zabezpečeno před jeho účinky (komutátorové motory, spínací a jisticí přístroje,...)
- zařízení, kde by výskyt oblouku způsobil vážné ohrožení bezpečnosti (vodiče pokryté izolací, EZ ve výbušných a hořlavých prostředích,...)

Jak je výše uvedeno, elektrický oblouk může být prospěšný i velice nebezpečný, z toho důvodu je potřeba umět rozlišit jednotlivé případy. V některých se může vyskytnout i kontradikce – např. vypínací oblouk ve vypínačích, který „*prospívá obvodu, ale škodí vypínači*“ (doc. Ing. Bohuslav Bušov, CSc. - prezentace v předmětu BEPR na VUT FEKT). Vybrané nejčastější případy budou probrány v následujících kapitolách.

2.1 Spotřebiče při normálním provozu

V následujících podkapitolách budou zmíněny zařízení s výskytem oblouku při normálním provozu, ať už se jedná o zařízení funkčně založená na principu oblouku nebo s parazitním výskytem oblouku. Jsou zde uvedeny jako příklad výskytu výbojů v obvodech nn, podle kterých bylo vyvinuto jiskřiště.

Komutátorové motory

Mezi nejstarší točivé elektrické stroje patří stejnosměrné motory a dynamy. Jejich konstrukce se skládá z pevně uloženého statoru s budícím vinutím. Do vnitřní dutiny je vložen pohyblivý rotor (kotva) válcového tvaru s vinutím kotvy. Aby stroj správně

pracoval, musí být zajištěna změna polarity napětí na jednotlivých pólech rotoru při otáčení. Toho je docíleno vložením komutátoru, složeného z měděných nebo mosazných lamel naskládaných po obvodu komutátoru. Vodivý kontakt mezi pohybujícími se lamelami na rotoru a vnějším zdrojem napětí připojeném na svorkovnici ve statoru zajišťují uhlíkové kartáče. V průběhu provozu se kartáče opotřebovávají a je nutno je vyměňovat, což je nevýhoda stejnosměrných strojů. Zahřívání kartáčů také způsobuje výkonové ztráty v obvodu.

Kartáče při pohybu po lamelách vytvářejí kontakt mezi obvody a vinutím rotoru protéká proud. Během procesu komutace však kvůli velikosti protékajícího proudu, nečistotám na lamelách a indukčnosti obvodu, která má za následek vzrůst napětí, může vzniknout elektrický oblouk s krátkou dobou trvání, tedy jiskra. V konstrukci těchto strojů se s jejím výskytem počítá, proto jsou lamely a izolace mezi nimi navrhovány s dostatečnou robustností. Jiskření na komutátoru, průchod proudu, mechanické tření a ztráty v železe způsobují tepelné zahřívání stroje, které se řeší větracími průduchy a ventilátorem umístěným na hřídeli rotoru.

Tato řešení s sebou přinášejí omezení možnosti provozu zařízení s těmito motory (ruční nástroje jako vrtačky, frézy, brusky, vysavače, atd...) v prostorech s nebezpečím výbuchu nebo vzplanutí hořlavin. Nevýhodou je také vf rušení přenášené do napájecího obvodu.

Oblouková svítidla

Stabilní elektrický oblouk produkuje kromě velkého množství tepla i elektromagnetické záření, a to v rozsahu od IR oblasti, přes viditelné světlo až po UV. Samotný zářící ionizovaný sloupec produkuje převážnou část záření v oblasti blízko UV a je tedy pro přímé osvětlování nevhodný. Řešením je vložení vhodného materiálu nebo plynu do výbojové trubice, čímž dojde k posunu a úpravě spektra emitovaného záření. Bezpečnost okolí před obloukem je zajištěna umístěním elektrod do trubice v krycím svítidle.

Svářecí technika a obloukové pece

Elektrický oblouk je kvůli vysoké teplotě využíván ve svářecí technice, kdy při nízkém napětí a velkém proudu je pomocí tavicích nebo netavicích elektrod ohříván a taven svařovaný kov. V těchto aplikacích je bezpečnost zajištěna okolím, tedy předpokládá se, že svařování provádí kvalifikovaná osoba s certifikací nebo dostatečnými zkušenostmi, a to v nehořlavém a nevýbušném prostředí. Oblouk se vyskytuje na sekundární straně svařovacího transformátoru nebo na výstupu měniče. Tím je oblouk při použití kvalitních EMI filtrů nebo transformátoru odrušen.

2.2 Spínače při změně stavu

Pro silnoprůdové obvody je známo, že elektrický oblouk vzniká i při spínání a rozspínání kontaktů spínačů jako jsou stykače, vypínače nebo přepínače vlivem oddálení nebo přiblížení kontaktních ploch. Intenzita oblouku závisí na druhu obvodu (střídavý, stejnosměrný), jeho indukčnosti, napájecím napětí a velikosti zátěže.

Zapínání

Během zapínacího pochodu dochází k přibližování kontaktů spínače, mezi kterými se zvětšuje intenzita elektrického pole do takové míry, až překročí elektrickou pevnost prostředí mezi kontakty. Síla urychlující elektrony dosahuje vysoké hodnoty, aby dopadající elektron s velkou kinetickou energií způsobil ionizaci atomu. Tím vznikne zárodek koróny, která rychle přechází v elektrický oblouk, který ale hoří jen do chvíle dotyku obou kontaktů a jejich vodivého spojení. Pokud vlivem pružnosti mechanismu dojde těsně po dosednutí kontaktů k jejich odrazu, může dojít ke vzniku oblouku s nežádoucím vlivem na elektrody. Kmitavý pohyb kontaktů má totiž za následek opakované opalování stykových ploch. Podobné následky mohou způsobovat nerovnosti povrchu na spínajících elektrodách vzniklé při předchozích spínacích procesech. Během nich došlo k přenosu materiálu z jedné elektrody na druhou a tím k tvorbě mikroskopických vyvýšenin. Při dotyku kontaktů se vlivem vysoké proudové hustoty a velkého přechodového odporu vytváří velké množství tepla, které vyvýšeniny může roztavit, nebo i vypařit. Pokud se elektrody k sobě přibližují pomalu vzhledem k rychlosti vypaření vyvýšenin, vzniká v mezeře elektrický oblouk. Tavení elektrod je při zapínání nežádoucí a může mít za následek i trvalé svaření kontaktů. [2]

Vypínání

Kontakty spínače jsou při zapnutém stavu přitlačovány silou kontaktní pružiny a tím dochází k deformaci materiálu elektrod, aby se potlačil zvýšený přechodový odpor vzniklý nerovnoměrným dosednutím kontaktů na nerovnosti povrchu, a také vliv odpudivé síly mezi kontakty. Při vypínání se přitlačná síla pružiny snižuje, stejně jako počet stykových míst, roste kontaktní odpor a tím i ohřívání kontaktních můstků Joulovým teplem. Pokud jsou elektrody vyrobeny z materiálů s nízkou teplotou tavení, může dojít k vytvoření můstku z roztaveného kovu s výhodnými podmínkami pro vznik oblouku. U kontaktů s vysokou teplotou tavení dochází k zahřívání posledního kontaktního místa na takovou úroveň, že výstupní energie elektronů se zmenší na velikost, při které jsou elektrony vytrhovány z elektrody a lavinovou ionizací vzniká oblouk. [2]

2.3 Svodiče přepětí s jiskřištěm

Při překročení jmenovité hodnoty napětí v rozvodech nn způsobeným spínacím, atmosférickým nebo jiným přepětím dochází ve svodiči ke krátkodobému uzemnění sítě pomocí průrazu speciálně upraveného jiskřiště s nejnižší elektrickou pevností v rozvodu. Výbojem se chráněná síť zkratuje se zemí a tím jsou spotřebiče a okolí chráněny před účinky přepětí.

Elektrická pevnost jiskřiště je navrhována tak, aby při jmenovité hodnotě napětí byl průchod jiskřištěm zanedbatelný nebo nulový. Po překročení průrazného napětí vzniká mezi elektrodami jiskřiště kritická hodnota intenzity elektrického pole, které uděluje elektronům dostatečnou kinetickou energii pro ionizaci atomů. Mezi elektrodami vzniká nejprve koróna přecházející v jiskru a při delší době trvání přepětí v oblouk. [2]

2.4 Pojistky

Konstrukce pojistek se skládá z tavného vodiče umístěného v komoře, která může být naplněna vzduchem nebo zrnitým hasivem. Tato vložka tvoří nejslabší článek elektrického obvodu, jelikož má nejmenší průřez. Je zároveň mechanicky uzpůsobena, aby se přetavila na určeném místě pokrytém vrstvou materiálu s jinými tepelnými vlastnostmi než zbytek tavného vodiče. Na tomto místě se vložka vyhřeje rychleji než po celé délce a přerušení má charakter mikroexploze, což má za následek rozložení molekul v místě přetavení. Vzdálenost konců obou vodičů po rozpojení je velmi malá a intenzita elektrického pole dosahuje hodnot větších než elektrická pevnost prostředí v místě přerušení. To způsobuje urychlování elektronů vstupujících z katody a disociaci molekul. Za velmi krátkou dobu vzniká lavinovým průrazem elektrický oblouk trvající do doby, než je uhašen zrnitým hasivem nebo se jeho délka zvětší natolik, že zaniká v nejbližší nule proudu. [2]

Jelikož je celý zhašecí prostor pojistky zapouzdřen v mechanicky odolném krytu, je okolí zabezpečeno před účinky elektrického oblouku, pokud není výrazně překročena jmenovitá hodnota napětí nebo vypínacího proudu pojistky, která by mohla narušit elektrickou a mechanickou pevnost izolačního krytu.

2.5 Poruchový oblouk

Zvláštním případem výskytu elektrického oblouku v sítích nn je nebezpečný poruchový oblouk. Jeho nebezpečí plyne z rizika vzniku požáru okolního prostředí od oblouku nebo od přehřátí jiných konstrukčních prvků. Problém spočívá v jeho spolehlivé detekci, jelikož běžné přístroje jako jsou pojistky, jističe a chrániče za jistých podmínek mohou, ale i nemusí takovou poruchu rozpoznat.

Sériový poruchový oblouk

Pro ilustraci vzniku uvedeme následující příklad výskytu sériového poruchového oblouku. Domovní rozvod je osazen staršími hliníkovými vodiči a šroubky v zásuvkách nejsou pravidelně dotahovány. Časem se vlivem tepelné dilatace hliníku jeden z pracovních vodičů lehce uvolní ze svorky zásuvky, čímž vznikne nedokonalý kontakt s velkým přechodovým odporem. Do zásuvky je pak připojen tepelný spotřebič s vyšším příkonem (např. žehlička). Proud o velikosti několika ampér prochází místem nedokonalého spojení vodiče ve svorce zásuvky a na přechodovém odporu se vyvíjí Joulovo teplo úměrné kvadrátu procházejícího proudu. To má za následek zvýšení teploty v místě styku, které může způsobit natavení vodiče. Tyto podmínky jsou příhodné pro vznik elektrického oblouku, který se zapaluje v okamžiku vypaření vodiče v místě styku. Hořící oblouk svými tepelnými účinky ohřívá okolí, taví plastový kryt zásuvky a iniciuje požár elektrické instalace, který vyústí v požár celé stavby.

Kvůli skutečnosti, že se oblouk vyskytuje v sérii s normálním pracovním proudem, nazývá se sériový poruchový oblouk. Proud obloukem je dán především velikostí zátěže připojené do koncového obvodu a je tedy maximálně roven velikosti pracovního proudu spotřebiče. Proto nelze pro ochranu obvodů a EZ před sériovým obloukem použít nadproudové jisticí prvky jako pojistky nebo jističe. Při výskytu oblouku v sérii na pracovních vodičích nelze tedy použít ani proudový chránič citlivý na reziduální proud, jelikož poruchový proud je zároveň pracovním proudem.

Požár elektrické instalace kvůli vzniku sériového poruchového oblouku může mít za následek ztráty na životech a velké nenahraditelné škody. Z celkové skupiny závad způsobených všemi poruchovými oblouky patří přes 90 % právě mezi sériové poruchy. [3]

Paralelní poruchový oblouk

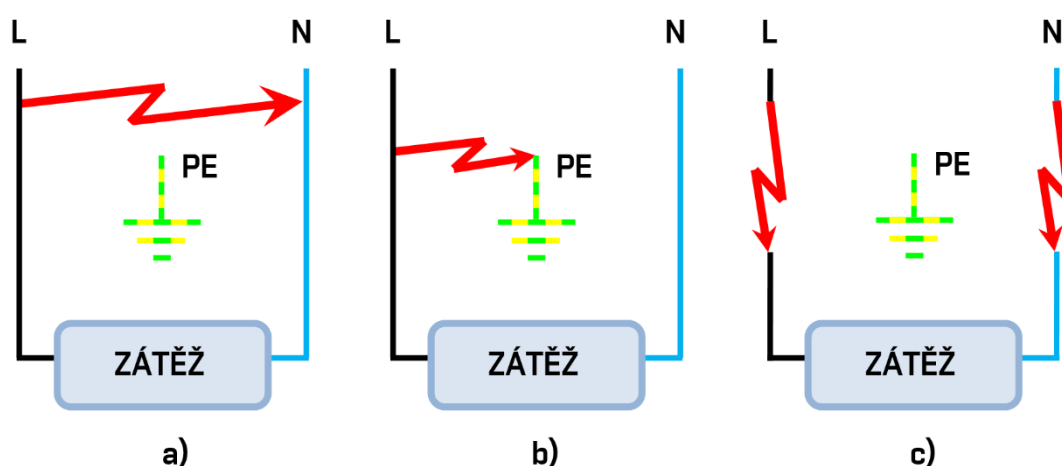
Jako příklad výskytu lze uvést porušenou izolaci na prodlužovacím přívodu k spotřebiči v rozvodu nn (např. v rodinném domě nebo bytě, tedy v prostorách obsluhovaných laiky). Přívod je nezodpovědným a neopatrným způsobem namáhán opakovaným přivřením ve dveřích. S každým zavřením dveří je mechanicky stlačován PVC plášť kabelu, který se po čase naruší do takové míry, že se zcela protrhne a tím se odhalí izolace jednotlivých vodičů. Pokud namáhání dále trvá, je poškozena a protržena i tato izolace a vodiče jsou nyní bez krytí. Poté stačí dotyk obnažených vodičů nebo mírné zvýšení vodivosti v prostoru mezi odhalenými vodiči vlivem vlhkosti k dosažení vhodných podmínek pro vznik oblouku. Zvýšená vodivost usnadňuje ionizaci prostředí, paralelní oblouk se zapaluje mezi přívodními pracovními vodiči bez omezení proudu zátěží a způsobuje požár.

Často paralelnímu poruchovému oblouku trvá jen krátkou dobu, než přejde v tvrdý zkrat. Samotný odpor oblouku totiž nestačí k omezení procházejícího proudu a oblouková porucha se mžikově mění ve zkrat. Nemusí tak tomu ale být vždy. Pokud by

prostředí v místě styku nemělo dostatečnou vodivost a přispělo by svým přechodovým odporem k omezení paralelního proudu poruchou, nemusí dojít ke zkratu, ale jen k přetížení jisticího prvku.

Kvůli častému přechodu paralelního oblouku ve zkrat jsou běžné nadproudové ochrany schopny tuto poruchu rozpoznat a vypnout díky vysoké hodnotě proudu. Pokud oblouk vzniká mezi vodičem pracovním a ochranným, dokáže jej rozpoznat a detekovat proudový chránič, a to i při malých hodnotách poruchového proudu, které jsou ale větší než jmenovitý reziduální proud chráničce $I_{\Delta n}$. Takový způsob ochrany instalace se již používá, slouží k tomu proudové chráničce s $I_{\Delta n}$ nepřesahujícím 300 mA, ale spolehlivě funguje pouze při zemních poruchách. Z celkové skupiny závad způsobených všemi poruchovými oblouky patří do 10 % právě mezi paralelní poruchy. [3]

Pokud oblouková porucha nastává mezi pracovními vodiči L-N, přístroj AFDD podle velikosti proudu obvodem zjišťuje, zda se jedná o sériovou nebo paralelní poruchu. Typ poruchy je poté u přístrojů AFDD některých výrobců zobrazován LED signálkou.



Obr. 2.1 Typy obl. poruch: a) paralelní L-N, b) paralelní L-PE, c) sériová v L nebo N

3 OCHRANNÉ PRVKY V SÍTÍCH NN

Následující kapitola se bude zabývat přístrojovými ochrannými prvky používaných v elektrických instalacích nn. Zamezit samotnému vzniku poruchy je velmi problematické. Bylo by nutné pečlivě kontrolovat stav izolace vodičů, konstruovat zařízení s vyšším IP krytím nebo např. používat snížené napájecí napětí. Prakticky jednodušším řešením je omezení následků vzniklých působením poruchy pomocí odpojení od zdroje napájení nebo zkratování se zemí. V případě bezpečnosti osob se jedná o ochranu automatickým odpojením od zdroje (definováno v ČSN 33 2000-4-41 ed. 3). Přístroje jsou vyráběny v různých konstrukcích podle druhu poruchy, kterou mají detekovat a zpracovávat (vypnout, uzemnit, omezit).

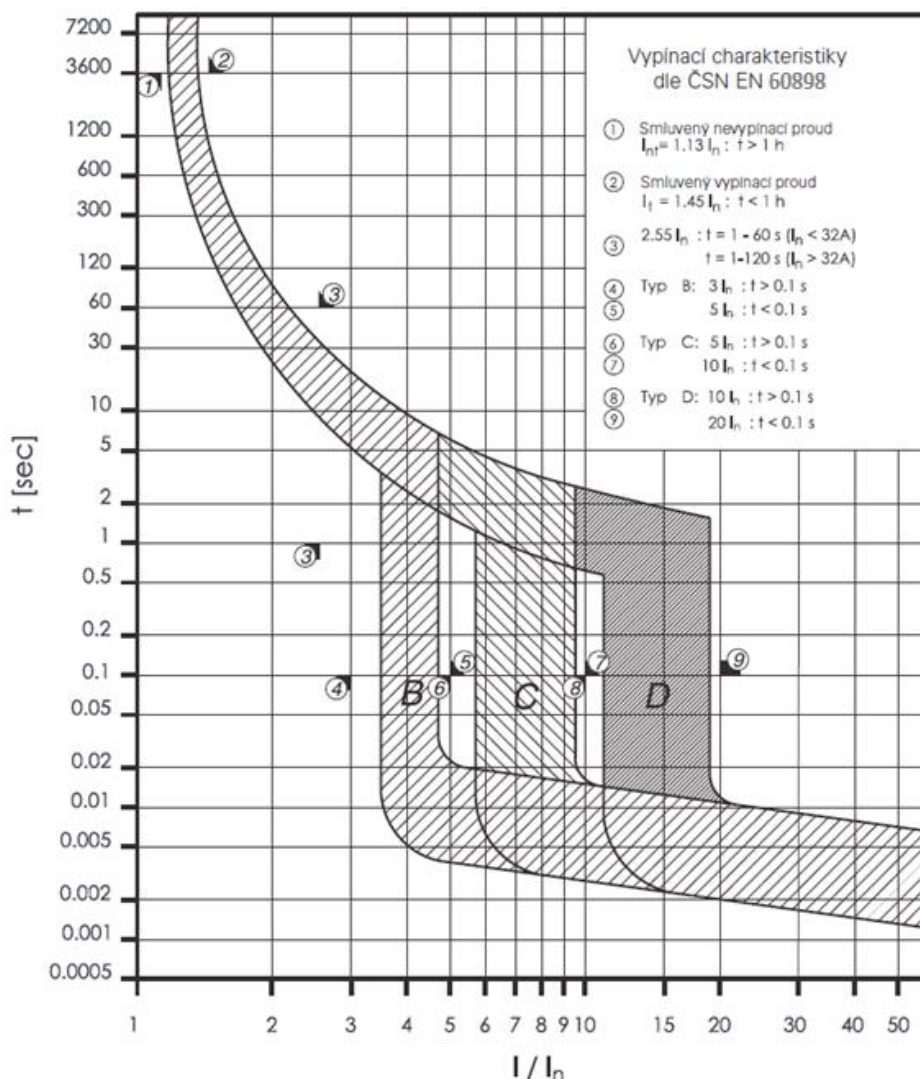
3.1 Jističe

Hlavním důvodem pro vývoj a zavedení jističe bylo odstranění potřeby vyměnit pojistkovou vložku po každém vybavení. Pro vysvětlení základního principu bude využit příklad fungování miniaturního jističe. Jeho konstrukce se skládá z přívodních svorek, vnějšího manuálního ovládání, krytu, vnitřních mechanismů a zhášecí komory.

Vypínací charakteristika jističů se od charakteristiky pojistek zřetelně odlišuje, a to z důvodu různé doby reakce tepelné a zkratové spouště jističe. U pojistek je totiž celá charakteristika odvozená od oteplování tavného vodiče, a to v oblasti přetížení i zkratů. Jistič využívá oteplování především při přetížení, kdy je ohříván bimetal. Při zkratu je využíváno vysoké hodnoty proudu k vytvoření dostatečné síly v elektromagnetu, který způsobuje mnohem rychlejší vybavení než tepelná spoušť.

Jak už bylo zmíněno, jistič používá dva typy spouští při provozu v různých oblastech nadproudů. Pro přetížení je využívána tepelná spoušť tvořená bimetalovým páskem, který se průchodem násobku proudu ohřívá. S rostoucí teplotou materiálu se bimetal ohýbá a přibližuje k uvolňovacímu mechanismu volnoběžky. Ta je napojena na mechanickou pružinu, která byla dříve natažena při mechanickém zapínání jističe. Volnoběžka je mechanismus, který umožňuje rychle uvolnit nataženou pružinu a energii v ní uloženou. Po dosažení určité míry ohybu naráží bimetal do volnoběžky a působením velmi malé síly ji uvolňuje. Pružina se uvolňuje a uvádí pohyblivý kontakt proudovodné dráhy jističe do pohybu. Tím je přerušeno elektrické spojení obvodu, vzniká oblouk, který je elektrodynamickými silami vháněn do zhášecí komory tvořené kovovými štěrbinami, kde je rozdělen na mnoho menších úseků a uhašen. Celá operace se odehrává pod krytem chránícím okolí před účinky oblouku. Jističe s vyššími hodnotami jmenovitého proudu mohou mít v tepelné spoušti místo bimetalu obsažen měřicí proudový transformátor s elektronickým vyhodnocením, což umožňuje další nastavení vypínací charakteristiky.

Výhodou použití složitějšího mechanismu je možnost opětovného zapnutí jističe bez nutnosti výměny jeho součástí (pokud tedy zkrat nepřekročil vypínací schopnost). Konstrukční provedení lze pro sítě nn rozdělit do tří hlavních skupin: miniaturní jističe (MCB), kompaktní jističe (MCCB) a vzduchové jističe (ACB). Typ provedení je silně závislý na jmenovitém proudu a vypínací schopnosti konkrétního jističe. Miniaturní jističe jsou běžné instalační jističe s montáží na DIN lištu používané pro ochranu koncových obvodů. Jejich vypínací schopnost se pohybuje v hodnotách 3 až 25 kA. Jističe se vyrábějí ve třech charakteristikách, a to B, C, D pro různé typy zátěží s různými zapínacími proudy. Kompaktní jističe se používají pro jištění obvodů s většími zkratovými poměry na vstupu. Hodnoty mezní vypínací schopnosti jsou poměrně rozsáhlé: přibližně od 15 do 150 kA. Vzduchové jističe se vyrábějí s hodnotami vypínacích schopností přibližně mezi 42 až 150 kA. Konkrétní požadavky na jističe stanovují normy ČSN EN 60947-2 (pro provoz v prostorách užívaných odborným personálem) a ČSN EN 60898-2 (pro provoz v prostorách užívaných laiky).



Obr. 3.1 Vypínací charakteristiky typu B, C, D jističe Eaton řady PL7 [4]

3.2 Proudové chrániče

Nejstarším přístrojem pro detekci reziduálních proudů v sítích nn je klasický proudový chránič (RCD nebo RCCB). Skládá se z přívodních svorek, součtového transformátoru, vybavovacího mechanismu s volnoběžkou a testovacího tlačítka. Pracovní vodiče obvodu jsou přivedeny na vstupní svorky a vstupní proud je odveden do vodičů navinutých jedním závitem na součtovém transformátoru. Ten je tvořen toroidním jádrem a opatřen sekundárním vinutím. Po navinutí pokračují vodiče na výstupní svorky dále do obvodu. Sekundární vinutí je tvořeno velkým množstvím závitů z tenkého vodiče. Tato vinutí vyrábí pouze několik společností na světě kvůli velké složitosti technologie výroby. Sekundární vinutí totiž musí disponovat stabilním výstupním napětím i přes velké výkyvy teplot a další vlivy. Výstup sekundárního vinutí je napojen na vybavovací elektromagnet uvolňující volnoběžku.

Jako příklad funkce uvedeme provoz 4-pólového proudového chrániče chráničového sběrnici, na které jsou připojeny jednofázové jističe pro vývody v domovním rozvodu. Při nerovnoměrném zatížení prochází každou fází jiný proud a nulovací vodič je také zatížen. Napětí na závitě pracovního vodiče navinutého na součtovém transformátoru způsobí vznik magnetického toku, který na sekundárním vinutí indukuje napětí. Pokud je rozvod bez poruchy, protéká proud pouze pracovními vodiči a jejich vektorový součet je nulový. Nevzniká magnetický tok a na sekundárním vinutí se neobjevuje napětí. Ve chvíli, kdy dojde např. k nebezpečnému dotyku živé části, začne poruchový proud procházet přes postiženou osobu do země a nebude se vracet nulovacím vodičem zpět do proudového chrániče. Magnetický tok způsobený nulovacím vodičem poklesne na hodnotě a vznikne nenulový celkový magnetický tok jádrem transformátoru. Tok indukuje napětí na svorkách sekundárního vinutí, kterým protéká proud do vybavovacího elektromagnetu. Pokud má proud dostatečnou hodnotu, vyvíjí elektromagnet dostatečnou sílu pro uvolnění volnoběžky, vybavení přístroje a tím odpojení postiženého místa od zdroje napájení.

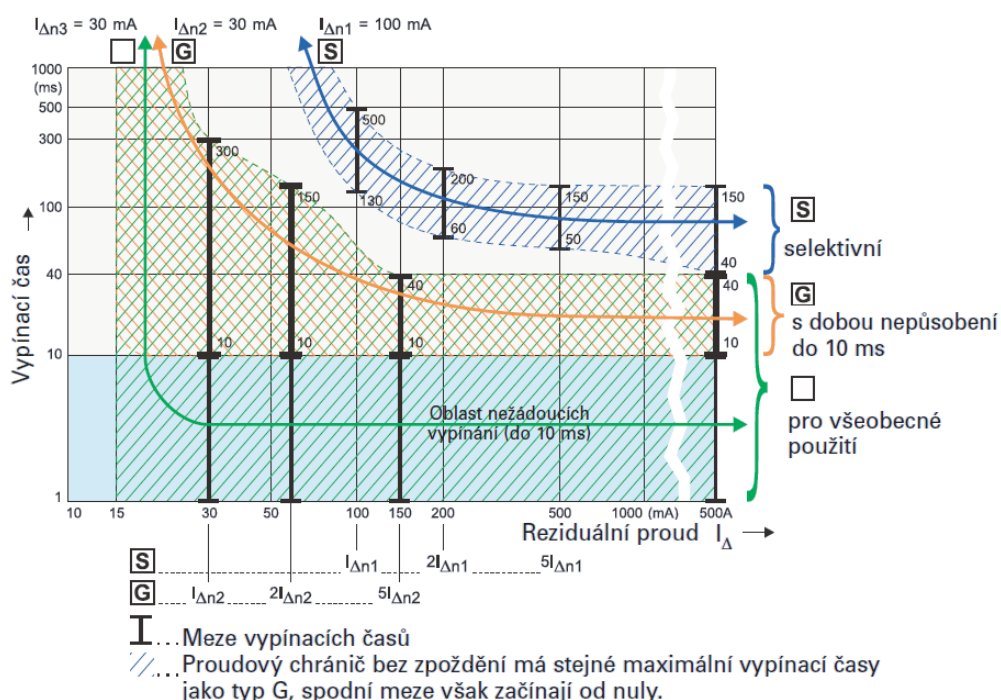
Vzhledem k jemné konstrukci sekundárního vinutí dochází časem k jeho degradaci a zhoršení citlivosti na reziduální proudy. Proto je proudový chránič vybaven testovacím tlačítkem, které by mělo být sepnuto jednou za čas stanovený výrobcem přístroje (většinou 6 měsíců). Tlačítko je napojeno mezi jednu vstupní a jednu výstupní svorku spolu s omezovacím rezistorem. Při stisku tlačítka s přítomností napětí na svorkách je přes rezistor mimo součtový transformátor odveden reziduální proud simulující skutečnou poruchu. Minimální reziduální proud, při kterém chránič vybaví, musí být podle normy v rozsahu $1-0,5I_{\Delta n}$. Při hodnotách menších než $0,5I_{\Delta n}$ chránič nesmí vybavít. Tento rozsah je vztažen ke jmenovitému napětí na svorkách chrániče.

Proudové chrániče jsou odpínače schopné odolat a vypnout i menší rázové proudy v hodnotách několika kA. Vyrábějí se typy s citlivostí na různé průběhy reziduálních proudů (střídavé, stejnosměrné pulzující, stejnosměrné vyhlazené), popř. schopné detekovat vf proudy (obvody s frekvenčními měniči, rentgeny atd.). Kvůli zajištění

selektivity se zavedly tři třídy (-, G, S), které mohou mít různé minimální doby nepůsobení (0, 10 nebo 40 ms). Normalizované hodnoty jmenovitých reziduálních pracovních proudů pro běžné chrániče jsou stanoveny na hodnoty 10, 30, 100, 300, 500, 1000 mA. Technické požadavky jsou stanoveny normou ČSN EN 61008. Použití proudových chráničů je v mnoha rozvodech povinné a řídí se normami:

- ČSN 33 2000-4-41 ed. 3
 - provoz v běžných domovních rozvodech
- soubor norem ČSN 33 2000-7
 - prostory s vanou, sprchou, plavecké bazény, fontány, sauny, staveniště, zemědělské objekty, atd...
- ČSN 33 2130 ed. 3
 - pro byty, domy s konstrukcí ze zcela, či částečně hořlavého materiálu se proudový chránič použije jako ochrana proti vzniku požáru

Jelikož chrániče neobsahují nadproudovou ochranu, musejí být jištěny proti přetížení a zkratu. Kvůli přerušení fázového i nulového vodiče u 4 a 2 pólových chráničů během vybavení je normou ČSN 33 2000-4-41 ed. 3 zakázáno použití proudového chrániče v sítích TN-C.



Obr. 3.2 Vypínací charakteristika proudového chrániče [4]

3.2.1 Chráničojističe

Doplněním tepelné a zkratové spouště spolu se zhášecí komorou k vnitřní sestavě proudového chrániče vznikne proudový chránič s nadproudovou ochranou (RCBO, také označovaný jako kombinovaný, chráničojistič nebo jističochránič). Výhodou tohoto řešení je především úspora místa v rozvaděči. Použití chráničojističů je vhodné v obvodech jako jsou osvětlovací okruhy, které musejí být kromě jistění proti nadproudům opatřeny doplňkovou ochranou proti nebezpečí úrazu elektrickým proudem (podle nového vydání norem ČSN 33 2000-4-41 ed.3 a ČSN 33 2130 ed. 3).

3.3 Obloukové ochrany

Mezi nové v Evropě a zatím málo rozšířené přístroje patří obloukové ochrany AFDD schopné rozpoznat poruchové oblouky v rozvodech nn. Detekování obloukových poruch patří mezi nejobtížnější proces a je přenechán elektronice. S rozvojem integrovaných obvodů a měřicí techniky se otevřely nové možnosti vyhodnocování veličin v obvodu pomocí rychlého vzorkování elektrických veličin v obvodu.

Jednotka AFD (Arc Fault Detection unit) obsažená v přístroji obsahuje slaboproudý elektronický obvod napájený z hlavní proudovodné dráhy mezi silnoproudými svorkami přístroje. Důležitým prvkem jsou čidla napětí a proudu, která v reálném čase provádějí vzorkování protékajícího proudu a mezisvorkového napětí. Důležitá je schopnost elektroniky zachytit vf rušení generované obloukem. Při jeho výskytu v obvodu totiž vzniká charakteristické spektrum signálu superponované na harmonické napájecí napětí. Elektronika musí mít obsažen algoritmus vyhodnocující naměřené veličiny a při překročení určitých parametrů vydává pokyn k vybavení. Přístroje AFDD jsou zatím konstruovány jen pro jednofázové obvody, a to buďto jako samostatná spoušť pro připojení do série s vhodným zařízením jistícím před zkratem (vznikne např. jistič nebo chráničojistič se spouští poruchového oblouku) nebo jako jeden přístroj zahrnující jednotku AFD integrovanou v ochranném zařízení (např. proudový chránič s nadproudovou a obloukovou ochranou).

Jednou z vlastností AFD jednotky je odolnost proti rušení z běžných spotřebičů a měničů – triakové stmívače, komutátorové motory, spínané zdroje. Jejich provoz může generovat značné vf rušení, které je ale odlišné od spektra poruchového oblouku. Citlivosti přístrojů AFDD jsou ale zkoušeny i při použití maskovací zátěže, kdy se objeví poruchový oblouk u značně rušící zátěže. AFDD v tomto případě musí odhalit zamaskované spektrum poruchového oblouku a ve stanoveném čase vydat pokyn k vybavení. Technické požadavky na tyto přístrojové ochrany jsou stanoveny v normě ČSN EN 62606.

4 MĚŘENÍ S PŘÍSTROJEM AFDD

V rámci bakalářské práce byla provedena měření provozních parametrů přístroje AFDD. Výsledky byly využity při zpracování konceptu technického řešení simulace poruchového oblouku na panelu.

Jelikož přístroj AFDD firmy EATON disponuje signalizací druhu obloukové poruchy (sériová, paralelní), byl vznesen ze strany firmy požadavek na zahrnutí simulace paralelního oblouku k dalším poruchám, kterými jsou zkrat, nebezpečný dotyk a sériový oblouk. Pro navržení a zkonstruování jiskřiště simulujícího takovou poruchu bylo nutné experimentálně změřit hodnotu proudu, při kterém je poruchový oblouk v obvodu vyhodnocen přístrojem AFDD jako paralelní.

Měření se uskutečnilo ve zkušebně spínacích přístrojů nn pod dozorem vedoucího zkratmitra. K dvoupólovému přístroji AFDD bylo připojeno zkonstruované experimentální jiskřiště s automatickým pohonem (viz Obr. 5.3) a jako zátěž byly využity výkonové rezistory pevně instalované ve zkratovně. Přístroj AFDD měl následující parametry:

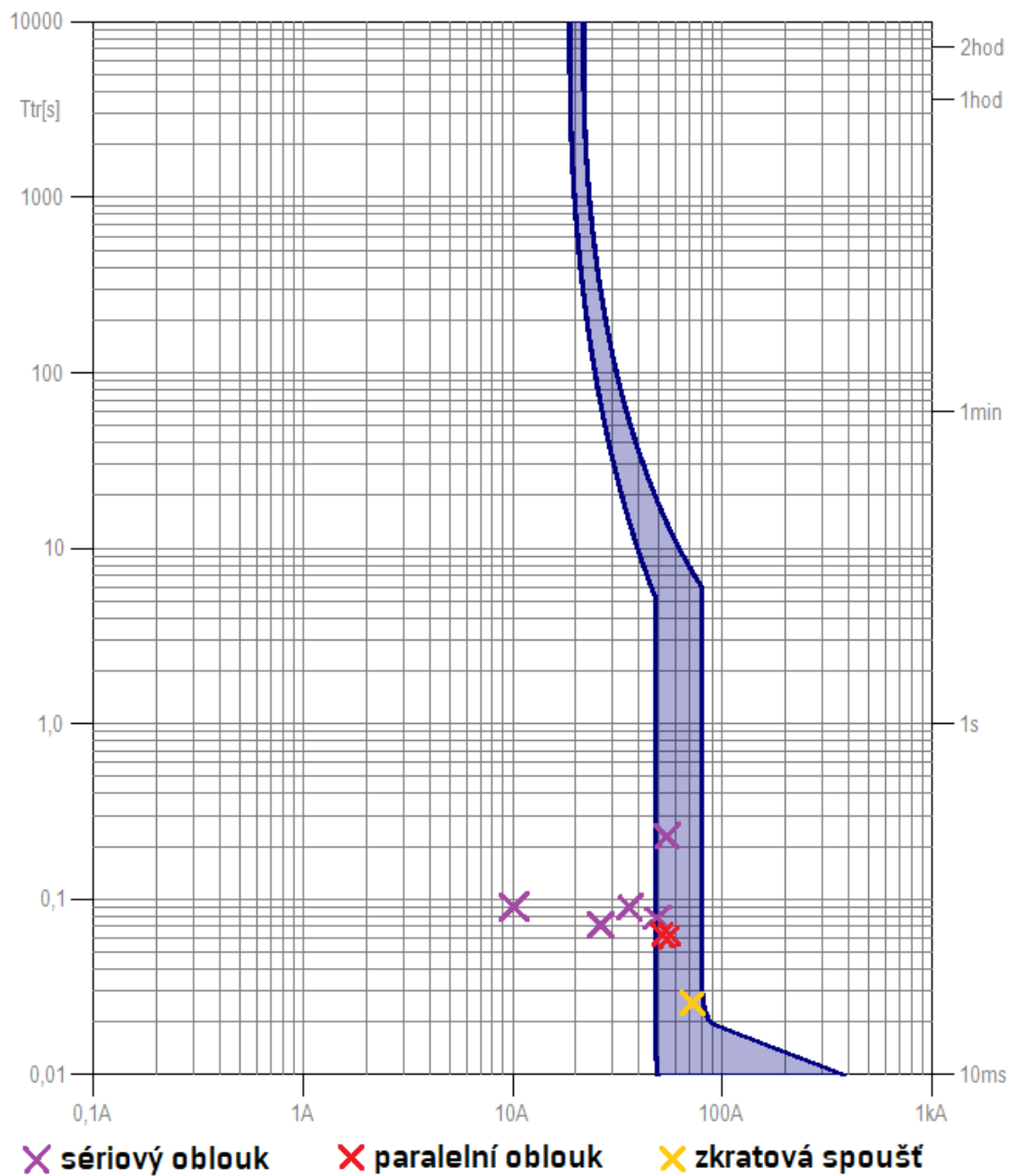
Tab. 4.1 Parametry zkoušeného přístroje AFDD

jmenovitý proud	I_n	16 A
typ charakteristiky nadproudové spouště		B
vypínací schopnost	I_{cn}	10 kA
jmenovitý reziduální proud	$I_{\Delta n}$	30 mA
typ proudového chrániče		A
jmenovité napětí	U_e	240 V; 50 Hz



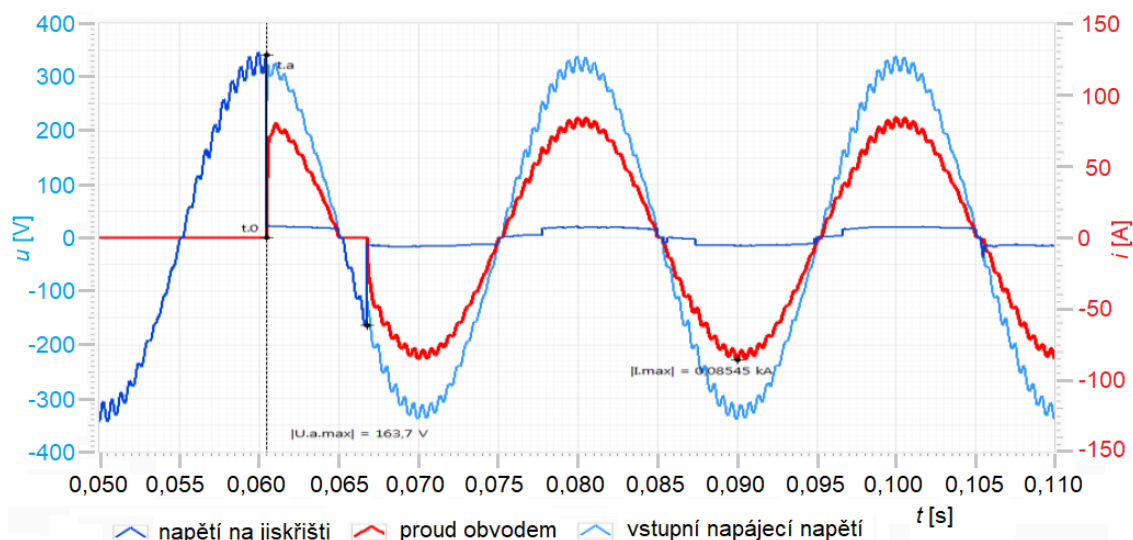
Obr. 4.1 Zkoušený přístroj AFDD [10]

Jmenovitý proud zkoušeného přístroje byl zvolen vyšší, než bude použit na panelu, aby byla i jeho zkratová spoušť posunuta do vyšších hodnot proudu. Během měření byl postupně zvyšován proud zátěží při aktivním jiskřišti a sledována reakce s následnou signalizací přístroje. Přístroj s vyšším jmenovitým proudem než 16 A nebyl okamžitě k dispozici, muselo by se vyčkat na dodávku přístrojů z firmy nebo zakoupit přístroj s vyšším I_n . Měření ale i přesto proběhlo úspěšně i s uváděným přístrojem. Ve vypínací charakteristice přístroje AFDD níže udávané výrobcem je znázorněna signalizace typu vybavení v závislosti na procházejícím proudu v měřicím bodě (viz Obr. 4.2).



Obr. 4.2 Vypínací charakteristika výrobce [5] s naměřenými body a výsledky

Z naměřených hodnot vyplývá, že hranice mezi rozlišením sériového a paralelního oblouku je v oblasti mezi 52,4 A (sériový oblouk) a 54,7 A (paralelní oblouk). Minimální proud potřebný pro vyvolání signalizace paralelního oblouku lze tedy zvolit jako hodnotu efektivního proudu 55 A procházejícího čistě odporovou zátěží při sinusovém napájecím napětí 230 V, 50 Hz.



Obr. 4.3 Detail průběhu veličin v obvodu při zkoušce s proudem $I_{ef} = 57 \text{ A}$

Na Obr. 4.3 lze dobře rozpoznat přerušení proudu v první záporné půlvlně napětí a zapalovací špičku na jiskřišti. Na dalších půlvlnách tento jev není vidět, ale při dalších měřeních s různými proudy byl zřetelný. Je vidět, že napětí oblouku zůstává téměř konstantní po dobu trvání půlvlny napětí. Zvlnění napájecího napětí a proudu je způsobeno spínacím kmitočtem tyristorů ve zkušebním obvodu zkratovny. Průběh napětí a proudu se nepochybně podobá typickému průběhu v obvodu s obloukem, jelikož zde nedochází k přerušování proudu (je vidět jen na začátku). To je způsobeno konstrukčním řešením jiskřiště, které obsahuje pevnou a pohyblivou elektrodu. Pohyblivá elektroda je k pevné přitlačována vlastní hmotností a pružností přírodního vodiče, čímž jsou obě elektrody stále v kontaktu. Při pohybu elektrody se mění přechodový odpor, kontaktní styk se zahřívá a vznikají spíše malé krátké výboje než dlouhý oblouk typický např. pro vypínací proces ve spínacích přístrojích. Naproti tomu obloukový generátor podle normy ČSN EN 62606 obsahuje dvě elektrody, které se od sebe oddalují a vzniká stabilní oblouk s přerušováním proudu. Pro správnou funkci je však u tohoto typu jiskřiště potřeba zručná manuální obsluha a čisté elektrody.

Vzhledem k časové náročnosti měření nebylo změřeno více bodů v okolí hranice rozlišení mezi sériovým a paralelním poruchovým obloukem. Kromě měření ve zkratovně byl zjišťován rozsah provozního napětí přístroje připojením autotransformátoru a sledováním napětí, při kterém došlo k zhasnutí LED indikace (vypnutí obloukové ochrany). Hodnota napětí, při které v přístroji AFDD přestala pracovat elektronika, byla 145 VAC. Při hodnotě napětí kolem 300 VAC byla aktivována elektronická nadpětňová ochrana a přístroj vybavil.

4.1 Simulace paralelní obloukové poruchy

Měřením bylo zjištěno, že minimální hodnota proudu, při kterém AFDD signalizuje paralelní poruchu, je přibližně 55 A. Pokud by tedy měl být panel schopen simulovat takovou poruchu, musel by odebírat ze sítě podstatně vyšší výkon oproti ostatním simulacím. Způsobů, jak toho dosáhnout bylo koncepčně navrženo několik a jsou uvedeny v kapitolách níže.

Rozebrání AFDD, oddělení napájení od hlavní proudovodné dráhy

Elektronika AFDD je napájena přímo ze vstupních svorek přístroje a její provozuschopnost se odvíjí od hodnoty přiváděného napětí. Proto nelze použít podobného technického řešení jako pro simulaci zkratu použitím snižovacího transformátoru s výstupním napětím řádově pár desítek V a proudovou zatížitelností několika desítek A (více viz 6.2.1).

Pokud by bylo možné přístroj rozebrat, přepojit vnitřní napájení elektroniky na napětí 230 V a hlavní proudovodnou dráhu na snížené napětí, bylo by teoreticky možné nechat přístrojem procházet proud velikostí podobný simulovanému zkratovému proudu (55 A při 9 V) při současném provozu elektroniky. Úspěch tohoto řešení by ale závisel na druhu použitých proudových sond uvnitř přístroje AFDD. Jestliže jsou použity měřicí transformátory, byla by při sníženém napětí 9 V omezena citlivost těchto čidel a potřebný proud pro vyvolání signalizace paralelní poruchy by mohl být mnohem vyšší. Kvůli těmto důvodům a také nutnosti rozebrání přístroje bylo použití této metody simulace vynecháno.

Snižující transformátor

Další možností je použití snižujícího transformátoru, který by dodával proud o velikosti 55 A při 145 V do přístroje AFDD. Elektronika přístroje AFDD totiž při tomto napětí ještě pracuje a není třeba rozebírat kryt. Nevýhodou je nutnost použití mohutného síťového transformátoru s odhadovaným výkonem více než 8000 VA (bez započítání účinnosti). Na sekundární straně by přístroj AFDD pracoval při napětí 145 V a procházel jím proud 55 A a na primární straně by transformátor odebíral kolem 35 A při 230 V z jednofázové sítě. Tato hodnota primárního proudu je ještě v oblasti tepelné spouště jističe B16 a bylo by možné metodu použít, pokud by simulace trvala jen velmi krátkou dobu. Tato metoda také nebyla použita, z důvodu mohutnosti transformátoru vážícího několik desítek kilogramů a možnému nežádoucímu vybavení nadřazeného jištění.

Snižující měnič

Místo snižujícího transformátoru by bylo možné použít poněkud lehčí výkonový měnič. Složitost a náročnost vývoje a výroby takového měniče by si vyžádala hodně času a finančních prostředků, a proto ani tato metoda nebyla použita. Pokud by se ale

přesto uvažovalo o provozování simulace paralelní poruchy z jednofázové instalace v místě připojení panelu do elektrické sítě, byla by tato metoda nejspíše nejvhodnějším řešením z hlediska hmotnosti celého panelu (popř. by měnič byl samostatně přenosným zařízením připojovaným k panelu).

Externí zdroj elektrické energie

Další možností je připojení dodatečného externího zdroje elektrické energie k panelu použitím agregátu, střídače DC/AC napájeného z baterií nebo měniče AC/AC – 400/230 napájeného z trojfázové sítě. Opět složitost a potenciální logistické komplikace znemožňují další uvažování této metody simulace paralelní poruchy.

Vysokofrekvenční generátor

Jednou z možností je také sestavení vysokofrekvenčního generátoru, který by vytvářel rušení charakteristické pro paralelní poruchový oblouk. Teoreticky je totiž rozdíl mezi sériovým a paralelním obloukem vidět v kmitočtovém spektru kvůli vysoké hodnotě proudu, stabilnějšímu hoření oblouku, a tedy menšímu rušení. Přesný rozdíl mezi sériovou a paralelní poruchou v kmitočtovém spektru znám není. Sestavení takového generátoru by zabralo velké množství času a cena takového zařízení by byla vysoká kvůli potřebným kmitočtům pohybujícím se až v oblasti MHz.

Závěr k simulaci paralelního poruchového oblouku

Na základě zjištěných souvislostí bylo rozhodnuto, že panel nebude obsahovat simulaci paralelního oblouku. Technická a finanční náročnost by se nevyplatila při porovnání s očekávaným prezentačním efektem. Problém by také byl v obhájení užití této simulace při velké finanční a logistické náročnosti (těžký panel, nebo dodatečné zařízení). Statisticky se paralelní oblouk vyskytuje jen v 10 % počtu všech obloukových poruch. V praxi navíc velice snadno přechází v tvrdý zkrat, který vypínají běžné jističe a pokud je omezen impedancí prostředí (např. nečistoty bránící vzniku kovového zkratu, ale zároveň dostatečně vodivé prostředí k vytvoření oblouku), AFDD jej může chybně vyhodnotit jako sériovou poruchu.

5 GENERÁTOR OBLOUKOVÉ PORUCHY

Aby panel mohl bezpečně simulovat obloukovou poruchu je třeba vybavit zkušební obvod vhodně upraveným zařízením pro vytvoření elektrického oblouku tak, aby nedošlo k ohrožení osob blízko panelu, vzniku požáru nebo aktivaci EPS v objektu.

5.1 Způsob generování oblouku

První informace byly čerpány z normy ČSN EN 62606. V ní jsou definovány metodiky zkoušení přístrojů AFDD v různých konstrukčních konfiguracích připojených do obvodů s maskovacími zátěžemi, různými hodnotami proudu obvodem a další požadavky. Norma stanovuje tři hlavní způsoby zkoušení reakce AFDD na obloukovou poruchu:

Zkouška karbonizovaným kabelem

Dva vodiče těsně navzájem spojené mají proříznutou izolaci na délce 50 mm a místo je ovinuto černou PVC páskou a páskou se skleněnými vlákny. Vzorek je připojen na vysokonapěťový zdroj, čímž je vytvořena karbonizovaná vrstva mezi oběma obnaženými vodiči. Vzorek je pak připojen do obvodu s AFDD a odporovou zátěží. [6]

Řezání kabelu

Dva těsně spojené vodiče jsou příčně přeříznuty ocelovou čepelí s tloušťkou 3 mm. Tato zkouška se používá pro ověření činnosti v případě paralelního oblouku. [6]

Generátor oblouku

Přístroj sestávající z pevné a pohyblivé elektrody, jedna je tvořena karbon-grafitovou tyčí a druhá měděnou tyčí. Po zapojení do obvodu musí oddělení dvou elektrod na vhodnou vzdálenost vytvořit stálý oblouk mezi oběma elektrodami. [6]

Metoda karbonizovaného kabelu vyžaduje použití nového neopotřebovaného vzorku pro každou zkoušku, neboť s každým vzplanutím oblouku se opaluje izolace, karbonizuje okolí místa styku vodičů a vzorek by již nesplňoval požadavky. Tato metoda je nevhodná pro opakované simulování oblouku na prezentačním panelu, kde může počet takových simulací dosahovat i několika desítek denně.

Zkouška řezání kabelu je velmi efektní a ilustruje skutečné případy vzniku oblouku v elektrické instalaci (např. kabel přivřený ve dveřích). Nevýhodou je potřeba manuální zručnosti nebo jemného mechanismu, aby byl kabel přeříznut dostatečně pomalu pro vytvoření oblouku ještě před kovovým spojením vodičů. Čepel by musela být pravidelně naostřována (obloukem se opaluje), což by se projevilo v náročnější údržbě. Problémem je podobně jako u karbonizovaného kabelu nutnost výměny vzorku

kabelu za nový (ale teoreticky by bylo možné realizovat pomocí mechanismu odvíjejícího kabel z bubnové cívky).

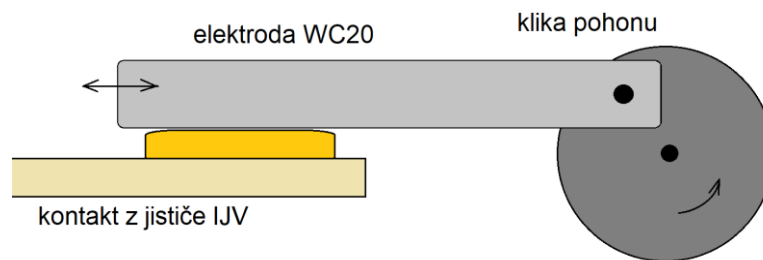
Elektrodotový generátor oblouku nepotřebuje častou výměnu součástí kromě občasné potřeby čištění elektrod od nečistot. Mohutnost mechanismu by mohla splňovat požadavky spojené s průchodem většího proudu a přibližovací pohyb jedné elektrody k druhé by bylo možné automatizovat. Tato metoda byla zvolena pro použití v simulátoru obloukové poruchy na panelu.

5.2 Elektrody

V normě je dáno, že při zkoušce s generátorem oblouku musí být jedna elektroda měděná a druhá grafitová. Při experimentálních pokusech v rámci zpracování této závěrečné práce však podobná konfigurace (měděná elektroda a uhlíkový kartáč z elektromotoru) neposkytovala očekávané výsledky. Bylo dosaženo většinou jen slabého jiskření, které na vybavení AFDD nestačilo. Pokud k vybavení došlo, stalo se tak po zdlouhavém jemném nastavování polohy elektrod vůči sobě a vzniku stabilního oblouku. Následně byly použity kombinace elektrod z uvedených materiálů:

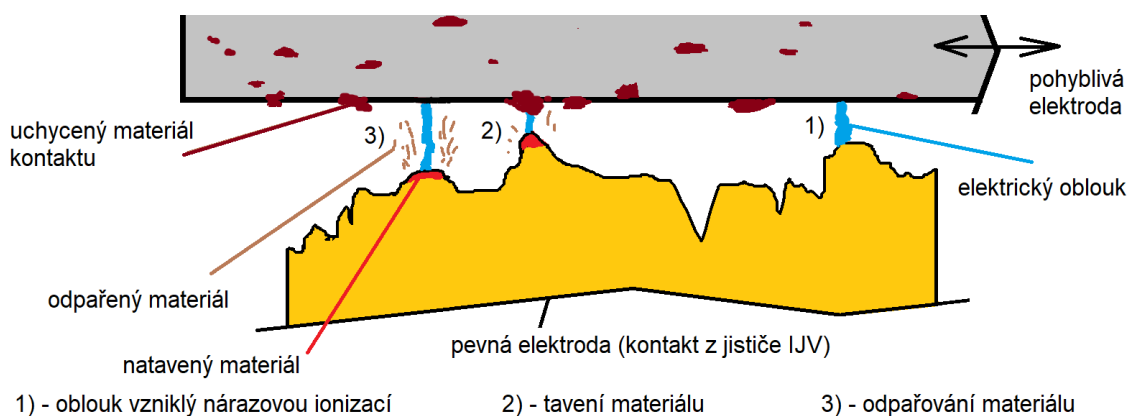
- ocelové šrouby do zdi
- měděné dráty průřezu 4 mm²
- elektrody pro TIG svařování legované cerem
- uhlíkové kartáče z velkého elektromotoru (100 kW)
- kontaktní ústrojí jističe IJV

U většiny elektrod muselo dojít k natavení materiálu, aby byl usnadněn vznik výboje a tím vybavení AFDD a při některých konfiguracích nedošlo k vybavení vůbec. Při všech pokusech byla připojena čistě odporová zátěž tvořená elektrickým přímotopem o výkonu 2 kW se stupňovitou regulací. Poté byl proveden pokus s použitím jedné svařovací wolframové elektrody WC20 a spínacího kontaktu z bakelitového jističe typu IJV 16A. Po dotyku došlo okamžitě k intenzivnímu jiskření přecházejícímu ve výboj a vybavení přístroje AFDD, a to i při nižším příkonu zátěže (kolem 3 A). Drsnost povrchu jističového kontaktu vytvářela nedokonalý elektrický spoj mezi oběma elektrodami a stírající wolframová elektroda začala vytvářet množství výbojů postačujících k vybavení AFDD. Výhodou této konfigurace je také tepelná odolnost wolframové elektrody i jističového kontaktu, neboť obě součásti byly konstruovány a dimenzovány právě pro aplikace s výskytem elektrického oblouku. Odpadá i problém s čištěním elektrod, neboť odpařený materiál z jističového kontaktu přichycený k wolframové elektrodě ještě pomáhá snadnějšímu vývinu výbojů. U tohoto generátoru oblouku je poruchový oblouk simulován pomocí množství malých výbojů, které se přesouvají po elektrodě. Důsledkem je velmi rozmanitý průběh napětí a proudu na jiskřišti s různě velkými zapalovacími špičkami – viz Obr. 5.6.



Obr. 5.1 Náskres uspořádání elektrod jiskřiště s pohonem

Na Obr. 5.1 lze vidět názorný náskres umístění elektrod. Pohyblivá wolframová elektroda se pohybuje v rovině kolmé k pevnému kontaktu a třením vytváří slabý elektrický kontakt s velkým přechodovým odporem. Zúžené místo styku se zahřívá průtokem proudu a materiál kontaktu se natavuje. Vytvářejí se vhodné podmínky pro ionizaci prostředí mezi elektrodami a po odpaření můstku z roztaveného materiálu nebo oddálení pohyblivé elektrody při jejím smyku po kontaktu dochází k výboji. Makroskopický pohled je znázorněn na Obr. 5.2 níže.



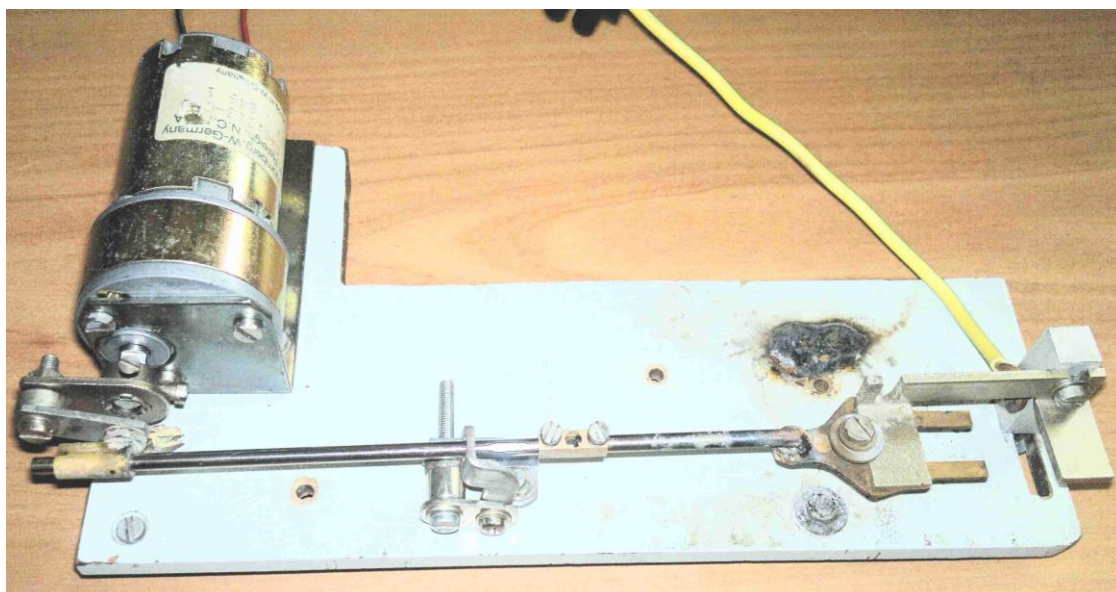
Obr. 5.2 Makroskopický princip vzniku výbojů mezi elektrodami

Skutečná vzdálenost obou elektrod se ve skutečnosti pohybuje v řádu mikrometrů, na obrázku byla ale tato vzdálenost zvětšena. Nedokonalý styk obou elektrod je způsoben drsností povrchu pevného kontaktu. Při tavení a odpařování materiálu se vytváří další trhliny a rýhy v povrchu. Materiál se průchodem velkého proudu snadno odpařuje a uchycuje se na wolframové pohyblivé elektrodě. Uchycený materiál přispívá ke snadnějšímu vzniku výbojů, jelikož dále zdrsňuje povrch wolframové elektrody a snižuje vzdálenost mezi elektrodami. Zahřívání a odpařování materiálu je přímo úměrné kvadrátu velikosti proudu a časem dochází ke ztrátě materiálu na pevném kontaktu, což je vyřešeno zkrácením doby trvání simulace a náhradními díly. Při experimentech bylo zjištěno, že nejnižší hodnota proudu jiskřištěm potřebná pro vybavení AFDD je přibližně 1,5 A (čistě rezistivní zátěž). Tato hodnota přibližně odpovídá mezním hodnotám pro vznik oblouku mezi kontakty z wolframu.

5.3 Automatizace provozu

Při experimentálních pokusech byl provoz jiskřiště zajištěn manuálním pohybem a třením obou elektrod o sebe s určitým přítlakem. Tento způsob je ale nevhodný, jelikož je požadováno snadné ovládání celého panelu bez nutnosti ručního nastavování elektrod.

Z tohoto důvodu byl navržen automatizovaný pohon provádějící pohyb elektrod podobně jako při manuálním provozu. Mechanismus je poháněn malým DC motorkem s převodovkou do pomalých otáček. Na výstupní hřídeli převodovky je umístěna klika, ke které je připevněna wolframová elektroda. Během otáčení hřídele se elektroda pohybuje v rovině kolmé k vodorovné podložce a tře o pevný kontakt z bakelitového jističe typu IJV. Při dosednutí na kontakt se elektroda přitlačuje vlastní hmotností a tím je zajištěn nedokonalý elektrický spoj vhodný pro vznik výbojů. Pohyb mechanismu je spouštěn pouze připojením napětí na svorky poháněcího motoru.



Obr. 5.3 Experimentální generátor sériové poruchy

5.4 Odladěná konstrukce jiskřiště

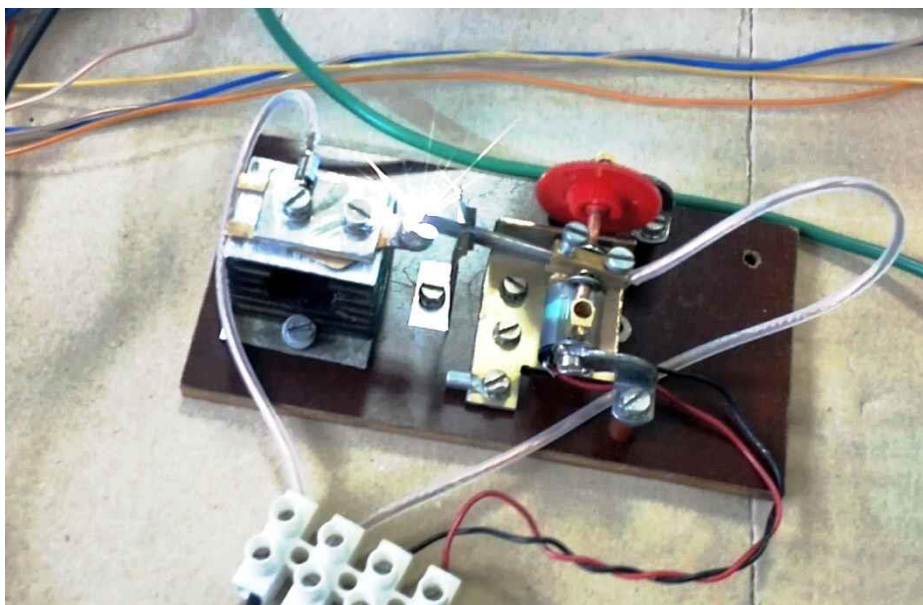
Podle zkušeností a poznatků získaných při experimentech bylo sestrojeno upravené jiskřiště ve zmenšené verzi s rozměry 12x6 cm. Princip vytváření obloukové poruchy zůstal zachován. Mechanismus byl upevněn na pertinaxovou desku a zakrytován děrovaným plechem pro ochranu před úrazem elektrickým proudem a mechanickou odolnost. Přední strana bude opatřena průhledným plexisklem připevněným čtyřmi šrouby.

Relativně velký DC motor s převodovkou na obrázku Obr. 5.3 je nahrazen malým modelářským motorkem s otevřenou převodovkou. Pro dosažení optimálních otáček byly doplněny dvě plastová kolečka, sloužící zároveň jako izolace mezi živou klikou a

neživým motorkem pro případ průrazu izolace vinutí v motorku. Jako klika je použit CY drát průřezu 4 mm² pečlivě ohýbaný do správného tvaru. Na klice je volně pohyblivá svorka pro vložení pohyblivé elektrody. Na druhé straně jiskřiště je na hliníkovém chladiči přišroubován pevný kontakt. Mezi něj a pohon je vložen krycí plech s výřezem pro nasměrování pohybu wolframové elektrody a ochranu pohonu před odpařujícím materiálem elektrod. Připojení vodičů je zatím provedeno pomocí svorkovnice, počítá se totiž ještě se změnami kvůli požadavkům firmy.



Obr. 5.4 Upravené jiskřiště pro použití na panelu



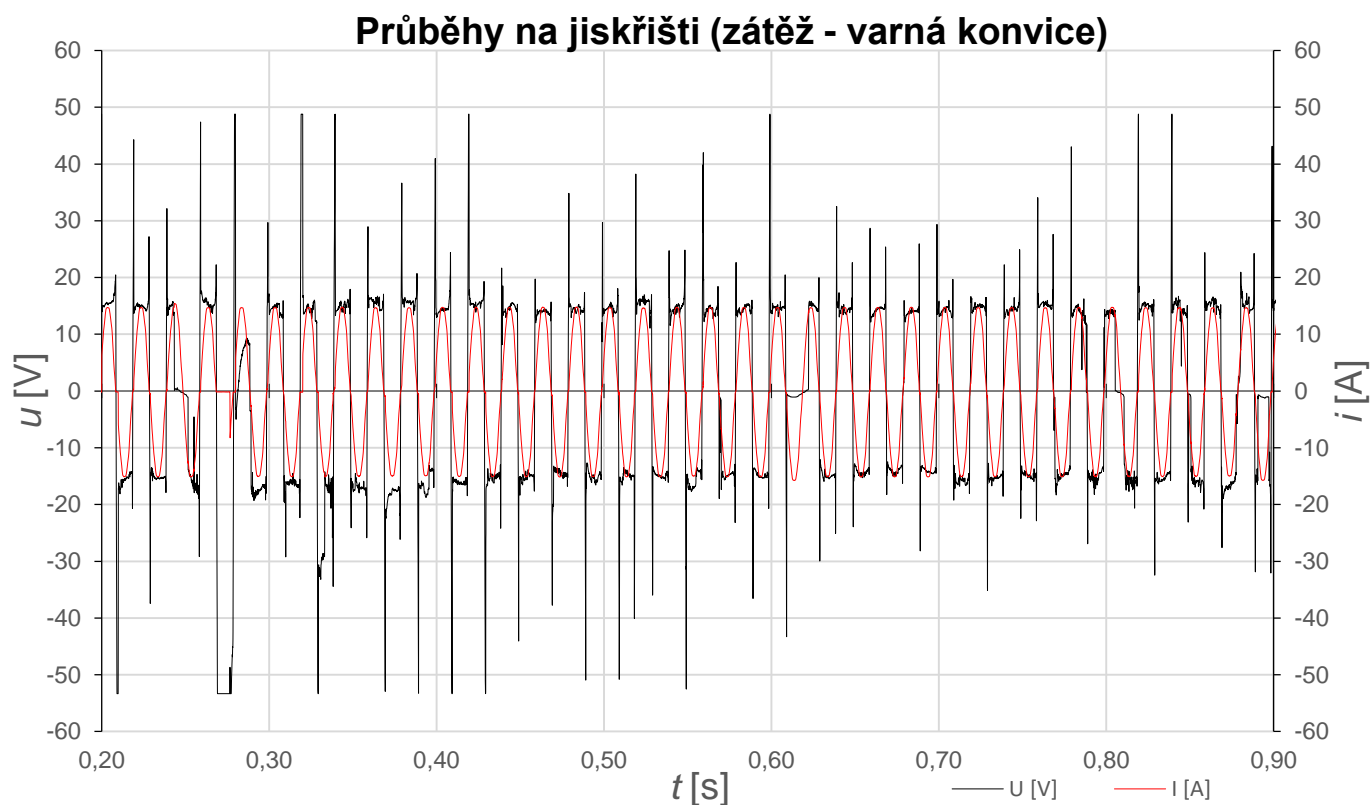
Obr. 5.5 Upravené jiskřiště při zátěži 10 A bez použití AFDD

Odladěné jiskřiště bylo podrobeno měření na osciloskopu při zapojené zátěži tvořené varnou konvicí s odebíraným efektivním proudem 10 A. Osciloskopem byl zaznamenán proud jiskřištěm a napětí mezi vstupní a výstupní elektrodou (obloukové napětí). Část celkového záznamu je na Obr. 5.6, kde lze vidět výskyt napětíových špiček typických pro průběh v obvodu s výskytem elektrického oblouku. Při průchodu proudu nulou totiž dochází ke krátkodobému uhasnutí oblouku a k opětovnému zapálení je třeba překonat elektrickou pevnost prostředí mezi elektrodami. Jakmile dosáhne napětí potřebné hodnoty (zapalovací špička) k průrazu prostředí, které je stále horké a obsahuje odpařené částice, dochází principem kombinované nárazové (zvýšená intenzita elektrického pole v úzkém prostoru mezi elektrodami) a termické ionizace (natavení materiálu kontaktu a vytvoření krátkého můstku z roztaveného kovu) ke vzniku oblouku a proud skokově vzroste. Uváděný princip ionizace se opírá pouze o teoretický předpoklad fyzikálních procesů probíhajících v mezikontaktním prostoru. Velikost špičky je velmi malá kvůli malé vzdálenosti elektrod (řádově mikrometry). Obloukové napětí je tvořeno především napětíovými úbytky na oblouku v blízkosti elektrod (do 18 V v amplitudě), jelikož se jedná o krátký oblouk. Vyšší hodnota napětí než 50 V nebyla zaznamenána kvůli měřicímu rozsahu sondy. Proud obloukem se svým průběhem přibližuje sinusovému napájecímu napětí a není příliš deformován odporem oblouku. Vzdálenost mezi elektrodami lze považovat v rámci jedné půlperiody za konstantní, jelikož pohyb wolframové elektrody je vzhledem ke kmitočtu napájecího napětí zanedbatelný. S poklesem proudu k nule se vytváří vhodné podmínky pro uhasnutí výboje, jelikož klesá počet ionizovaných částic. Těsně před plynulým dosažením nuly proudu se objevuje druhá, zhášecí špička obloukového napětí, proud klesá strmě k nule a výboj uhasíná. Zhášecí špička dosahuje nižší amplitudy kvůli tepelné setrvačnosti oblouku. Zobrazení průběhu viz Obr. 5.7.

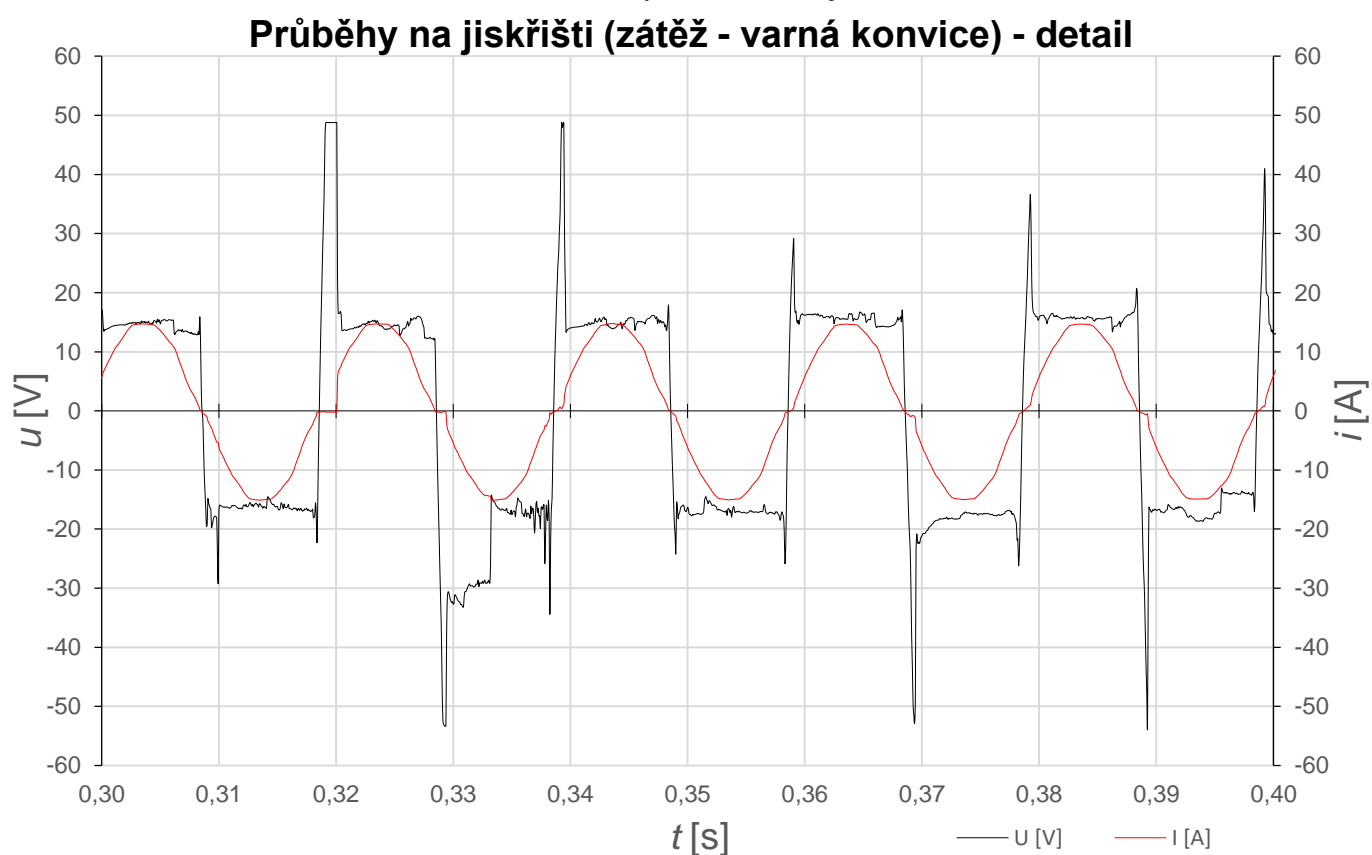
Při analýze průběhu na Obr. 5.6 si lze povšimnout občasných poklesů proudu k nule v rámci několika půlperiod nebo výkyvů obloukového napětí. Tyto odchylky jsou způsobeny pohybem elektrody a s tím související náhlou změnou parametrů prostředí (jiné místo styku, jiná vzdálenost, jiná teplota, jiné množství odpařených částic).

Na Obr. 5.8 je dále vidět periodický pokles obloukového napětí bez výskytu špiček typických pro výskyt oblouku. Tato chyba je způsobena opakovaným pohybem elektrody do míst, kde je kontaktní styk dokonalejší a nedochází k výskytu oblouku. Napětí je spolu s proudem sinusové, což znamená, že se jedná pouze o přechodový odpor mezi kontakty, který je téměř konstantní (ve skutečnosti není, neboť se mění teplota, ale rozdíly jsou zanedbatelné). Po změně polohy místa styku je vidět, že opět dochází k zapálení výboje. Problém byl vyřešen aplikací jiné přitlačné síly.

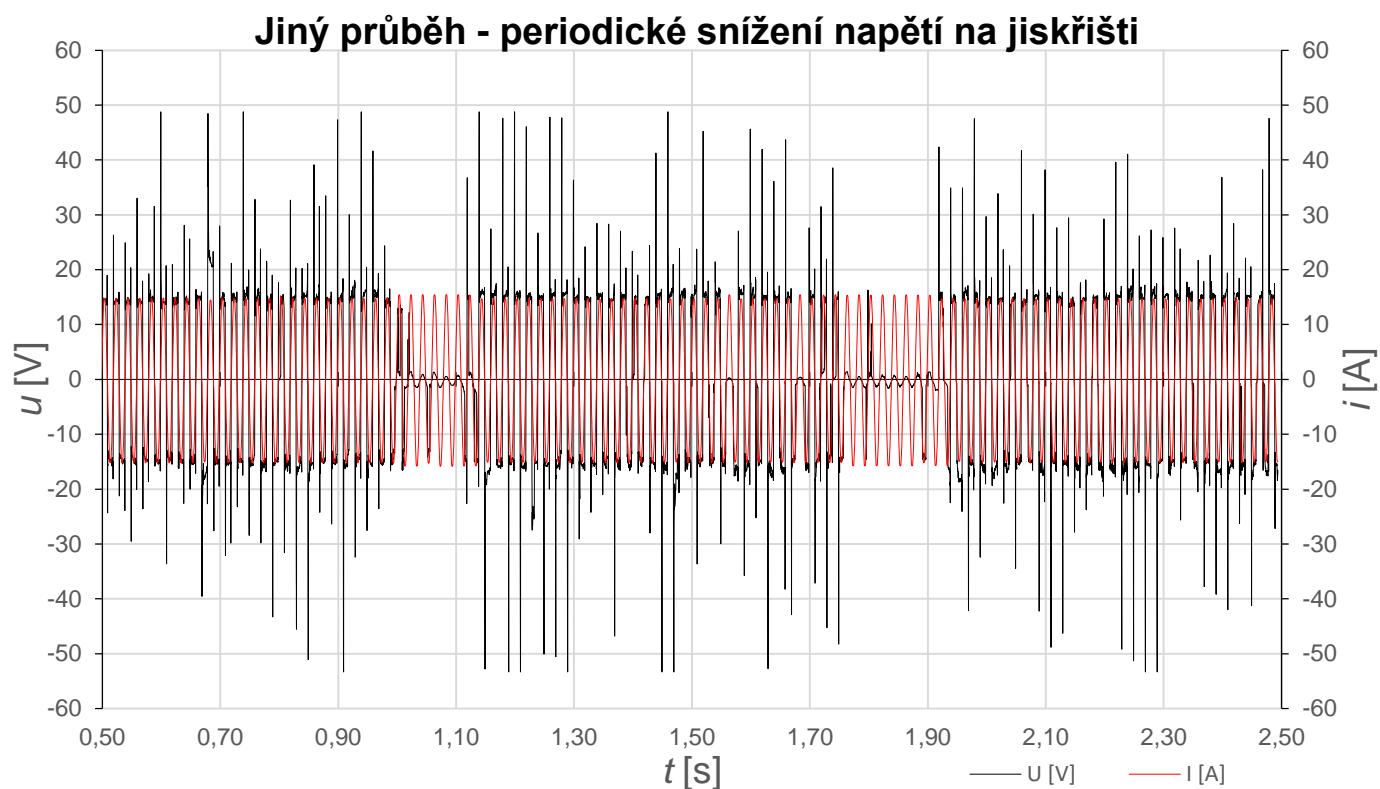
Svou konstrukcí se výsledné jiskřiště podobá reálnému výskytu výboje v elektrické instalaci, jako je třeba pohyb prodlužovacího přívodu s narušenou izolací, nedokonalý spoj v zásuvce nebo kabel náhle poškozený hřebíkem.



Obr. 5.6 Průběhy na odladěném jiskřišti



Obr. 5.7 Průběhy na odladěném jiskřišti - detail



Obr. 5.8 Jiný průběh - snížení napětí



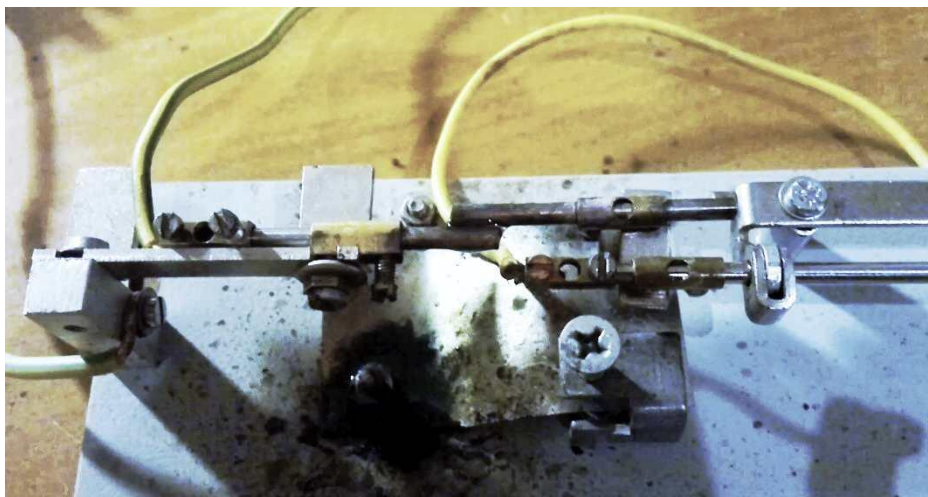
Obr. 5.9 Jiný průběh - snížení napětí, detail

5.5 Jiskřiště s dávkovaným vodivým roztokem

Při experimentech za účelem vytvoření paralelního oblouku byl testován princip jiskřiště, kde jsou umístěny dvě pevné wolframové elektrody rovnoběžně blízko sebe ve vzdálenosti 1 mm a mezi ně vstříknut roztok vody s kuchyňskou solí. Výsledek sice nepostačil k vytvoření paralelní poruchy, ale vybavení AFDD na sériový oblouk se podařilo. Voda se průchodem proudu intenzivně odpařovala a sůl vytvořila vodivé prostředí velice vhodné pro vznik jiskry, která přešla v oblouk. Ten se udržel jen do doby vybavení AFDD. Po vypnutí obvodu bylo zjištěno, že se všechna voda nestačila odpařit, a proto při dalším zapnutí již nebylo třeba dávkovat další roztok. Oblouk dokázal samovolně setrvat při vyjmutí přístroje AFDD po dobu nutnou k odpaření zbytku vody mezi elektrodami, a ještě chvíli poté docházelo k ojedinělým průrazům kvůli ulpělé soli na elektrodách.

Tento princip byl shledán jako velice efektní a zároveň poměrně blízký reálnému výskytu oblouku – např. narušená izolace dvou vodičů a výskyt vlhkosti mezi nimi v prostoru pod kuchyňským dřezem. Je ale pravda, že se jedná o sériovou poruchu, protože i když byly elektrody vedle sebe a vizuálně se velice přibližuje metodě zkoušek AFDD přístrojů pomocí karbonizovaného vzorku podle normy [6], proud obvodem byl pouze pracovním proudem elektrického přímotopu použitého jako zátěž. Vizuální efekt je ale umocněn vypařující vodou a intenzivním výbojem v prostoru mezi elektrodami. Při vybavení a opětovném zapnutí signalizovala LED kontrolka AFDD ve většině případů sériový oblouk na stmívané zátěži (např. na triaku – strmé hrany napětí). Tato signalizace byla pravděpodobně způsobena zmatením elektroniky vlivem nestabilního oblouku mezi elektrodami spolu s dalšími výboji přes roztok a páru. Na následujících obrázcích lze vidět jiskřiště s roztokem při průchodu proudu.

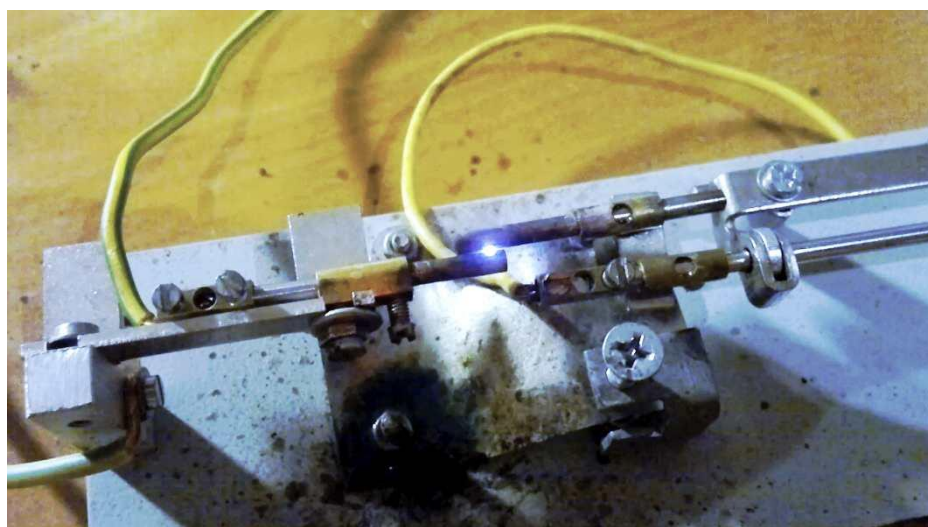
Na druhou stranu tato metoda přináší řadu technických a bezpečnostních problémů. Bylo by nutné zkonstruovat dávkovač roztoku chráněný před účinky tepla a soli a roztok by musel být průběžně doplňován. Odpařující voda s sebou strhává částice soli, která pak pokrývá celý prostor jiskřiště, a kromě postupné koroze kovových částí může způsobit i neočekávaný přeskok nebo průraz. Takové jiskřiště by vyžadovalo průběžnou údržbu pro zajištění bezpečnosti, nemluvě o nutnosti vodotěsného provedení.



Obr. 5.10 Konfigurace elektrod s roztokem



Obr. 5.11 Obloukový výboj mezi elektrodami s roztokem při průchodu proudu



Obr. 5.12 Zbytkové výboje po odpaření vody mezi elektrodami

6 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ PANELU

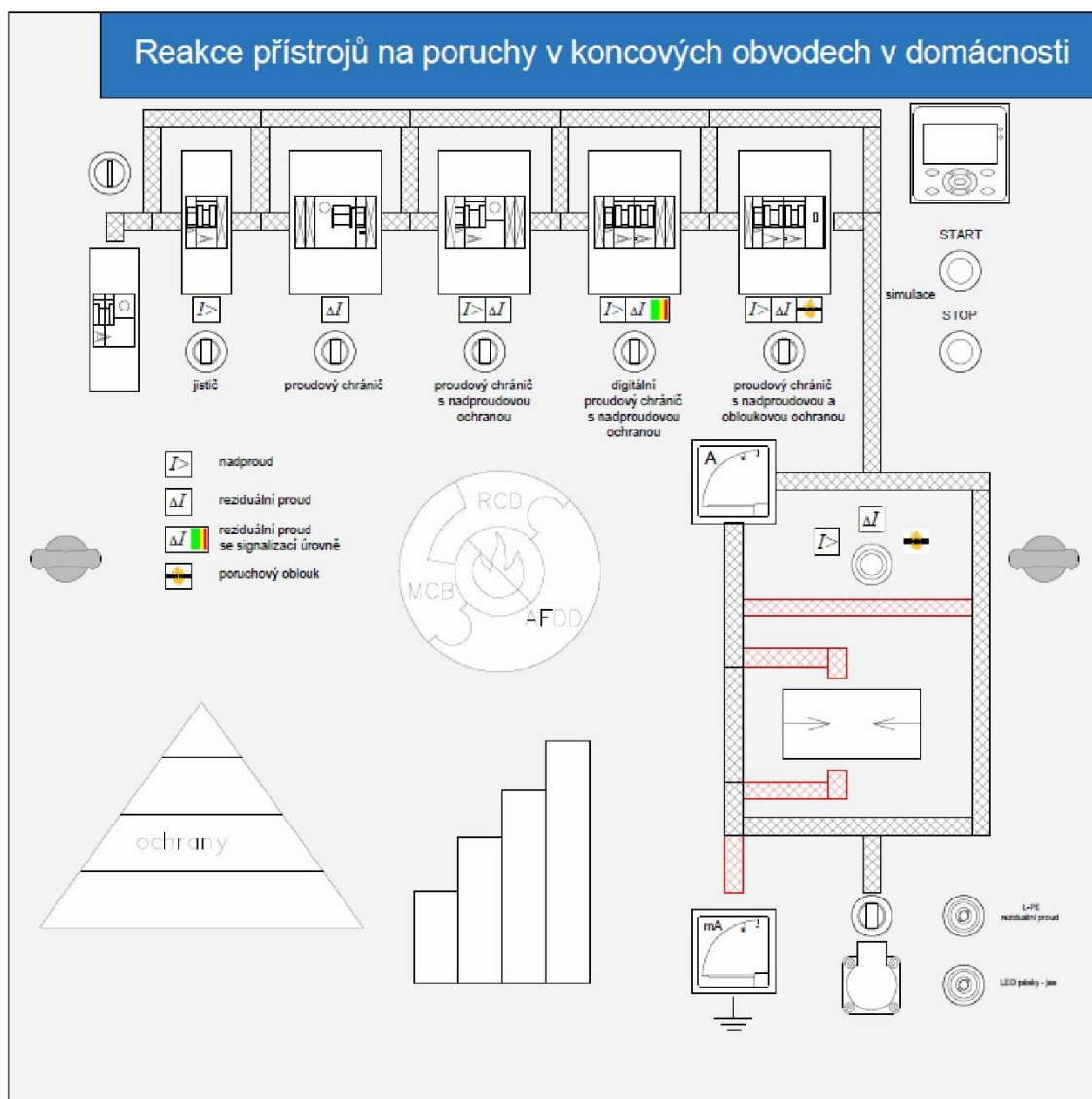
Panely budou sloužit prezentačním účelům při pořádání seminářů firmou nebo jako výuková pomůcka. Kromě důrazu na bezpečnost a spolehlivost je nutné řešit i designovou úpravu a mechanickou odolnost všech částí kvůli namáhání při transportu. Oba panely jsou konstruovány totožně, u školní verze se ale počítá s menším mechanickým namáháním kvůli méně náročnému převozu, proto při následné montáži budou možná vynechány některé zpevňující prvky. Požadavky na konstrukci předkládá firma kvůli praktickým zkušenostem s dalšími panely. V následujících kapitolách budou uvedena řešení jednotlivých funkčních částí panelu, stejně jako řešení bezpečnosti, mechanických částí a designu.

6.1 Koncept panelu

Vnější rozměry jsou pevně dány – 95x95 cm. Všechny prvky budou upevněny na dřevotřískové desce tloušťky 18 mm. Do desky budou vyřezány otvory pro zapuštění přístrojů a mikrorozvodnic a na její povrch budou instalovány velké rozvodnice, kabelové kanály, transformátor atd. Celá deska bude nejprve z přední strany potisknuta grafikou. V konceptu je občas pojednáváno v budoucím čase, jelikož výkres pro výrobu desky byl sice odeslán, ale deska nebyla do data odevzdání této práce zhotovena. Práce budou pokračovat po obhajobě.

Na panelu budou ilustrativně předváděny reakce vybraných 5-ti přístrojů na 3 různé typy poruch, které se v rezidenčních aplikacích nejčastěji vyskytují – zkrat, nebezpečný dotyk a sériový poruchový oblouk. Těmito přístroji jsou jistič, proudový chránič, proudový chránič s nadproudovou ochranou, digitální proudový chránič s nadproudovou ochranou a proudový chránič s nadproudovou a obloukovou ochranou (AFDD). Uvedených 5 přístrojů je umístěných na přední straně desky v krytých mikrorozvodnicích kvůli požární bezpečnosti. Panel bude podléhat revizi, ale tato skutečnost byla firmou oznámena později, proto se v původním návrhu nepočítalo s mikrorozvodnicemi. Na levé straně panelu je umístěno vstupní jištění spolu s nouzovým hříbkovým spínačem s vypínacím kontaktem. Od levé strany (napájení) je vedena ukázková linie ústící na pravé straně do obvodů poruch. V těchto obvodech je umístěn kontrolní „velký“ ampérmetr s rozsahem 100 A a „malý“ miliampérmetr 50 mA. Větší ampérmetr signalizuje okamžitý proud obvodem ukázkové linie, malý je pro měření reziduálního proudu – podrobněji viz 6.2.2. Na spodním konci obvodů poruch je vestavná zásuvka s víčkem pro zapojení zátěže (je nepostradatelná při simulaci obloukové poruchy). Kromě uvedených prvků jsou na přední straně umístěny ovládače a vzdálený displej řídicího PLC (viz 6.3.3). Pro usnadnění orientace jsou mezi přístroji a v obvodech poruch umístěny LED pásy ilustrující cestu proudu. K přístrojům v ukázkové linii jsou totiž paralelně připojeny přemostovací stykače a

nastávají situace, kdy je sice přístroj vypnutý, ale proud obvodem prochází přes stykač dále, což by mohlo přehlížející zmást. Řízení LED pásků je provedeno vyvinutým elektronickým obvodem přijímajícím signály z pomocných kontaktů přístrojů – dále viz 6.3.4. Levá dolní plocha panelu bude potisknuta ilustrativní grafikou k problematice AFDD a ochranných přístrojů. Podrobnější výkres panelu i s grafikou viz Obr. 6.1.



Obr. 6.1 Výřez z listu výkresu desky s návrhem přední strany panelu

6.2 Simulace poruch

Každý přístroj se od ostatních liší kromě ceny také schopnostmi reagovat na poruchy. Například jistič je schopen vypnout zkrat, ale nedokáže vypnout malý reziduální proud, který se např. vyskytuje při nebezpečném dotyku živých částí osobami nebo neživých částí osobami při poruše základní ochrany. Naproti tomu proudový chránič na nebezpečný dotyk reaguje a hojně se používá v zásuvkových obvodech, instalacích

s vanou nebo sprchou atd., ale je nutné jej jistit proti přetížení pojistkou nebo jističem, protože nemá vypínací ústrojí (bimetal, elektromagnet, zhášecí komora) pro vypínání nadproudů. Proudový chránič s nadproudovou ochranou (lidově „kombík“) tento nedostatek kompenzuje vlastním nadproudovým vypínacím ústrojím podobným jako u jističů. Digitální proudový chránič s nadproudovou ochranou obsahuje navíc LED kontrolku, která signalizuje úroveň reziduálního proudu v obvodu – do 30 % I_{An} zelená barva, od 30 % do 50 % I_{An} oranžová a nad 50 % I_{An} červená barva. Čtyřpólová verze digitálního chrániče obsahuje pomocné kontakty pro signalizaci do velínu budovy, ale na panelu je použit pouze dvoupólový chránič bez pomocných kontaktů. AFDD kombinuje vyjma barevné signalizace úrovně reziduálního proudu a pomocných kontaktů všechny uvedené schopnosti spolu s elektronickou obloukovou ochranou.

Uvedených 5 přístrojů je zapojeno v ukázkové linii navzájem v sérii, kde na začátku linie je připojeno napájení a na druhém konci jsou aplikovány poruchy. Každý přístroj reaguje minimálně na jednu z těchto poruch, některé přístroje na dvě a přístroj AFDD reaguje na všechny. Paralelně ke každému přístroji jsou zapojeny přemostovací stykače, které zkratují vstupní a výstupní svorky konkrétního přístroje a tím umožní průchod proudu do dalších přístrojů nebo k poruchám při vybavení přístroje. Např. při reziduálním proudu se může stát, že jeden přístroj vybaví rychleji než ostatní a pak by porucha nemohla pokračovat a nevybavily by další přístroje, i když by měly. Podrobnější informace ke stykačům viz kapitola 6.3.2.

Skutečné poruchy vyskytující se v elektrických instalacích mají extrémní následky – požár, přetížení, ztráta napájení, úraz elektrickým proudem a další. Panel nemůže kvůli bezpečnosti a opakovatelnosti ukazovat poruchy se skutečnými parametry, protože by přístroje a obvody dlouho nevydržely. Byly tedy navrženy způsoby, jak tyto poruchy simulovat bezpečně a zároveň dostatečně ilustrativně.

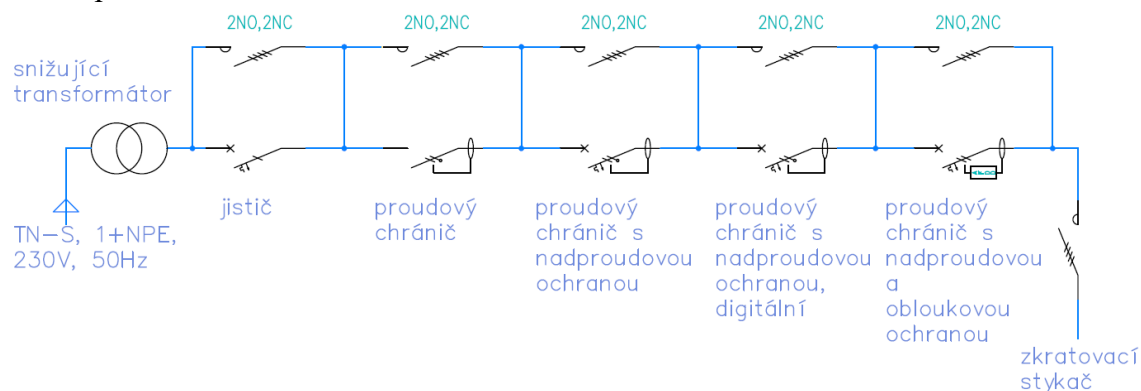
6.2.1 Zkrat

Zkratová porucha simuluje výskyt jednofázového zkratu mezi fázovým a nulovým vodičem. Velikost proudu reálného 1f zkratu v koncových obvodech nn závisí na výkonech, převodu a poměrném napětí nakrátko zdrojů, transformátorů, průřezu a délce vedení a kabelů a pohybuje se v hodnotách několika set až několika tisíc ampér při fázovém napětí 230 V.

Na panelu je třeba zkrat pouze simulovat, protože je nutné vyvarovat se vybavení jištění zásuvkového okruhu v místě připojení. Zároveň je však nezbytné vybudit dostatečný proud, který způsobí mžikové vybavení přístrojů se zkratovou spouští v ukázkové linii. Je třeba si uvědomit, že při zkratu ze všech přístrojů nevybaví pouze proudový chránič, který zůstane zapnut po celou dobu zkratu a bude tedy namáhán velkým proudem. Hledá se tedy nejmenší možná hodnota jmenovitého proudu, kterou mají společnou všechny přístroje. Tím je 10 A, protože přístroje AFDD s menším I_n se nevyrábějí (firmou Eaton). Charakteristika byla zvolena typu B, protože má umístěnu

zkratovou spoušť nejbližší jmenovitému proudu ($3-5I_n$), a tedy skutečný proud je také nejmenší. Pro uvedené přístroje s nadproudovou ochranou (jistice, chráničojistice) tak platí, že jejich zkratová spoušť vybaví v rozmezí proudu 30 až 50 A (neuvažuje se rozdílná reakce při jiném napájecím napětí). Aby bylo spolehlivě dosaženo mžikového vypnutí přístrojů, byla zvolena hodnota proudu 55 A i kvůli toleranci síťového napětí $\pm 10\%$ v místě připojení. Jmenovitý proud proudového chrániče v ukázkové linii byl zvolen $I_n = 63$ A.

Způsobů, jak požadované hodnoty proudu dosáhnout je několik. Jedním z nich bylo navrhnout a sestavit spínaný proudový zdroj. Vzhledem k chybějícím zkušenostem v této oblasti však bylo od této metody upuštěno. Ve finále byla zvolena metoda snižovacího transformátoru. Transformátor zde snižuje napětí ze síťových 230 V na 9,5 V. Na sekundární stranu je připojena ukázková linie s přístroji a na jejím konci je vytvořen zkrat pomocí stykače. Hodnota 55 A na sekundární straně je tedy na primáru snížena převodovým poměrem transformátoru a ze sítě je odebírán značně menší proud.



Obr. 6.2 Schéma ukázkové linie při simulaci zkratu

Potřebné sekundární napětí transformátoru bylo prakticky změřeno na pracovním zapojení silových obvodů panelu (Obr. 7.3). Číselně vypočíst tuto hodnotu nelze, jelikož nejsou známy hodnoty přechodových odporů mezi kontakty přístrojů, které se opakovaným průchodem zkratového i pracovního (do zátěže v zásuvce) proudu zahřívají. Dalším vlivem je kromě odporu a reaktance podélné větve náhradního schématu transformátoru také odpor vodičů. Jejich délka (fázový a nulový vodič) je přibližně 5 m. Při průchodu proudu 55 A se na nich vytváří úbytek napětí, který pak zbytečně zvětšuje velikost transformátoru. Kvůli tomu byly použity jednožilové vodiče CY 16 s větším průřezem. Po zapojení panelu byl umístěn pokusný transformátor většího výkonu, na kterém bylo při použití autotransformátoru na primáru naměřeno požadované sekundární svorkové napětí 9,5 V při zatížení 55 A. Aby se ušetřila hmotnost, byl navržen pulzní provoz transformátoru: 3 s plné zatížení (simulace zkratu), 40 s vypnuto (transformátor může vychladnout). Díky tomuto řešení bylo možné poddimenzovat transformátor na nižší efektivní výkon. Přesný pulzní provoz je

realizován řízením pomocí PLC. Externí firmou dodaný transformátor je na primární straně vybaven odbočkami pro přesné nastavení napětí po zapojení vodičů. Jištění transformátoru proti většímu přetížení, než je navrhováno, bude provedeno pojistkou gG, (proudová hodnota zatím není známa, je třeba ještě provést měření měření primárního proudu, s ohledem na toleranci napětí v síti). Kromě uvedeného řešení s vodiči bylo třeba vyřešit i problém s rozdílnými přechodovými odpory přístrojů v ukázkové linii a jejich přemostovacích stykačů – více v kapitole 6.3.2.

Návrh transformátoru byl zadán externí dodavatelské firmě. Byly nabídnuty dvě možnosti – klasický transformátor z EI plechů a toroid. Kvůli menším montážním rozměrům byl zvolen toroid, který bude upevněn na plech přichycený k desce panelu. Podrobnější návrh montáže není k dispozici, jelikož je nutná konzultace s firmou podle aktuální situace, která nastane během montáže – na zadní straně panelu totiž nezbývá moc prostoru.

Jelikož při zkratu je napájecí napětí v ukázkové linii sníženo na méně než 9,5 V, nejsou v provozu elektronické obvody v digitálním chrániči a AFDD přístroji. Tato skutečnost nevádí, neboť provozuschopnost zkratové spouště v obou přístrojích není závislá na velikosti napětí. Na spotřebiči připojeném do zásuvky se objeví nulové napětí kvůli zkratovacímu stykači.

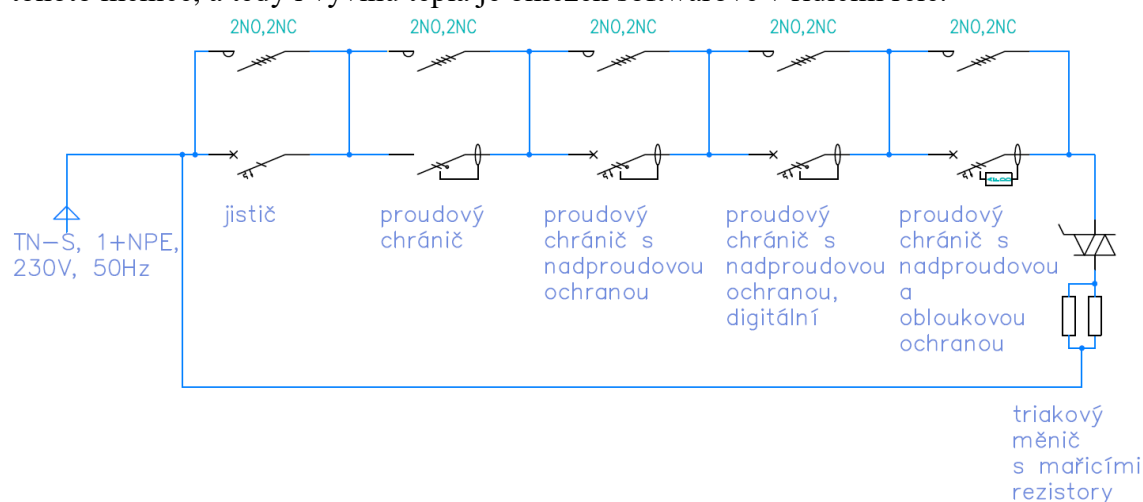
6.2.2 Nebezpečný dotyk

Zde se jedná o poruchu, při které se živá bytost stojící na uzemněném povrchu dotýká částí těla živé části EZ nebo neživé části při poruše základní izolace. Ve skutečnosti by se v tomto případě jednalo o dotyk v jednofázovém obvodu, nejpravděpodobněji na jedné z fází v síti TN-S. Pokud by však došlo k přímému spojení živé a uzemněné neživé části (krytu EZ tř. ochrany I), uzavřela by se zemní smyčka, což je vlastně zkrat a v případě, že by nebyl v obvodu proudový chránič, vybavil by jistič nebo pojistka. V simulaci na panelu se ovšem počítá pouze s nebezpečným dotykem osoby nebo zvířete, kde je poruchový proud omezen impedancí těla. Obvody na panelu budou zdrojem umělého reziduálního proudu dostatečné velikosti pro nucené vybavení proudových chráničů v ukázkové linii.

Aby opět nedošlo k nežádoucímu vybavení nadřazených chráničů zapojených v instalaci zásuvkového okruhu napájecího ukázkový panel, není reziduální proud sveden do ochranného vodiče jako ve skutečnosti, ale jen mimo přístroje do nulového vodiče. Pro přístroje v ukázkové linii se tento proud jeví jako reziduální, ale pro nadřazené přístroje v instalaci se jeví jako pracovní. Jmenovitý reziduální proud proudových chráničů v ukázkové linii byl zvolen $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$, což je hodnota předepsaná normou pro většinu obvodů v instalacích nn.

Prakticky je simulace provedena vložením triakového měniče mezi fázový vodič na konci ukázkové linie a nulový vodič na začátku ukázkové linie. Fázové řízení triaku je ovládáno potenciometrem na přední straně panelu. Tak je možno ovládat úroveň

reziduálního proudu obvodem a sledovat, při jakých hodnotách začnou proudové chrániče vybavovat (podle normy by neměly vybavovat při menším proudu než $0,5I_{\Delta n}$). Triakem lze nastavit úroveň reziduálního proudu v rozmezí od 7 do 55 mA při jmenovitém napětí sítě. Schéma zapojení triaku bylo inspirováno stavebnicí PT019 firmy TIPA [7]. Výkon reziduálního proudu je mařen ve dvou paralelně zapojených výkonových rezistorech $10k/\pm 5\%/10W/70^\circ C$ umístěných na zadní straně panelu. Maximální mařený výkon odpovídá při proudu 55 mA přibližně 13 W, což je z hlediska kontinuálního vývinu tepla nezanedbatelná hodnota. Na základě zkušeností firmy s podobnými obvody s tepelným výkonem bylo dohodnuto umístění mařicích rezistorů do krytu s chladiči. Přesná konstrukce bude ještě doladěna, pravděpodobně se použije žebrového chladicího modulu z počítače. Maximální nepřerušovaný čas provozu tohoto měniče, a tedy i vývinu tepla je omezen softwarově v řídicím relé.



Obr. 6.3 Schéma ukázkové linie při simulaci nebezpečného dotyku

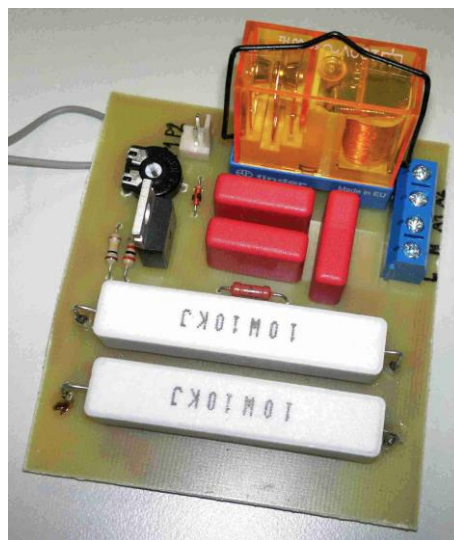
Při odlaďování triakového obvodu bylo zjištěno, že proud triakem nelze nastavit pod hodnotu 7 mA, a to kvůli RC članku u triaku nebo pozdějšímu vypínání triaku. Tento parazitní jev byl ale využit pro druhotný prezentační účel. V běžných elektrických instalacích se totiž vlivem svodů ve spotřebičích (např. bezpečnostní C_Y kondenzátory u vstupů spínaných zdrojů, kapacity v izolaci, ...) objevuje malý reziduální proud, který se ale příliš nepřibližuje proudu, který by mohl být nebezpečný pro živé bytosti (>30 mA) nebo způsobit požár (>300 mA). Podobným častým zdrojem reziduálního proudu jsou plazivé proudy přes zteřelý plášť PVC kabelů, který vlivem odpařování změkčovadla křehne a drolí se. Kromě toho i kabel s celistvou izolací je zdrojem reziduálního proudu, protože často udávané svodové kapacity 120 nF/km odpovídá reziduální proud 9 mA na jeden kilometr instalace. Tuto skutečnost je nutné si uvědomit při návrhu proudových chráničů v rozsáhlejších instalacích, a proto není řešení „jeden chránič na celý dům“ zcela tím nejlepším, a to i z hlediska selektivity.

Při běžném provozu panelu bez simulace nebezpečného dotyku je tedy reziduální proud přes přístroje v ukázkové linii minimálně 7 mA (větší proud může být vyvinut

spotřebičem v zásuvce). Při simulaci nebezpečného dotyku je připojen řídicí potenciometr, kterým lze postupně nebo najednou (záleží, jak rychle je rukojeť otočena) měnit hodnotu simulovaného poruchového reziduálního proudu. Hodnota je indikována analogovým vestavným miliampérmetrem s rozsahem 0-50 mA s dodatkem s menší přesností do 60 mA. Ve skutečnosti se však jedná o repasovaný voltmetr s upravenou stupnicí připojený na mařící rezistory. Voltmetr měří napětí 0-230 V, ale indikován je proud rezistory, protože je známa hodnota jejich odporu. Toto řešení bylo zvoleno kvůli nenalezení vhodného střídavého ampérmetru na trhu, protože je potřeba, aby byl svým vzhledem stejný k velkému ampérmetru 100 A, který měří pracovní (nebo zkratový) proud na konci ukázkové linie. Proto byl zakoupen voltmetr (EQN72 250V, výrobce Gossen Müller & Weigert) ze stejné výrobní řady jako velký ampérmetr (EQN72 50/100A).



Obr. 6.4 Repasovaný voltmetr s novou stupnicí



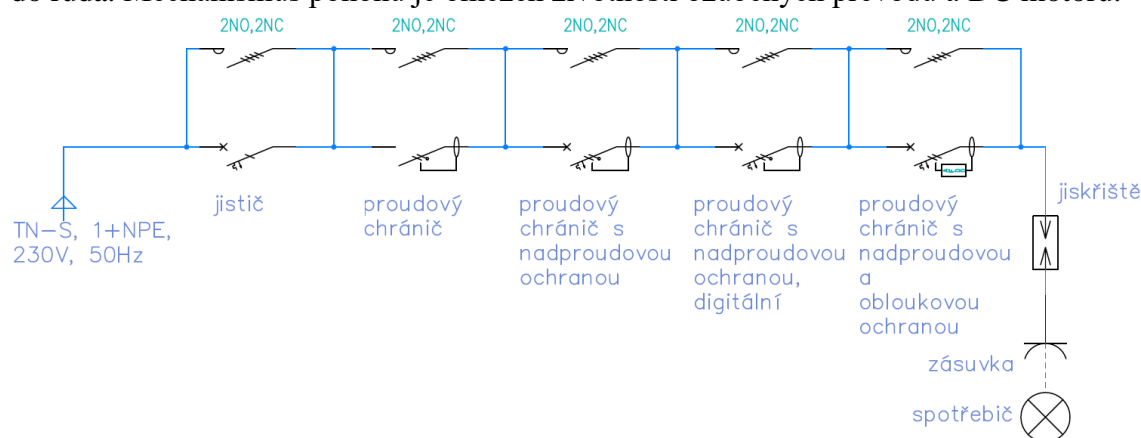
Obr. 6.5 Triakový měnič bez chladiče rezistorů

6.2.3 Sériový poruchový oblouk

Jak bylo zmíněno výše, na panelu je simulována pouze sériová oblouková porucha. Je charakterizována sériovým jiskřicím výbojem přecházejícím v oblouk. Pro vývin poruchy je třeba pracovní proud, na kterém se výboj vyskytne. Na panelu k tomu slouží vestavná zásuvka a jako zátěž slouží vhodné spotřebiče - například malá varná konvice nebo jiný tepelný spotřebič s dostatečným příkonem, popř. komutátorová vrtačka většího výkonu. Do série s pracovním proudem se pomocí stykače přepojí upravené jiskřiště neboli generátor oblouku. Přivedením napětí na svorky pohonu mechanismu se uvede wolframová elektroda do pohybu a nedokonalým stykem s pevnou elektrodou vytváří výboje podobné poruchovému oblouku.

Jiskřiště je umístěno v ochranném kovovém krytu připojeném k ochrannému vodiči. Finální jiskřiště ještě bude obsahovat změny, je třeba konzultace s firmou a sladění s požadavky. Údržba jiskřiště je minimální, při provozu dochází k pozvolnému

odpařování materiálu pevného kontaktu, pro který jsou připraveny náhradní díly. Další náhradní kontakty by měly být dostupné, jelikož se jedná o pohyblivé kontakty ze starých bakelitových jističů řady IJV, které lze stále najít ve starších instalacích. Míra odpařování materiálu je přímo úměrná kvadrátu velikosti proudu, proto je pro zvýšení životnosti pevného kontaktu doporučeno použití jiné menší zátěže, než je varná konvice. V rámci zpracování této práce a všech provedených experimentů byl používán stále tentýž kontakt, u kterého byla častými experimenty vytvořena nízká rýha s tvarem pohyblivé elektrody. Pohyblivá elektroda má průměr 4 mm a během experimentů se neprojevovalo výrazné namáhání nebo deformace této elektrody. Na povrchu se napařuje materiál z pevné elektrody, který ještě pomáhá vzniku výbojů. Při delší simulaci s velkou zátěží (varná konvice) bylo zpozorováno rozpálení wolframové elektrody do ruda. Mechanismus pohonu je omezen životností ozubených převodů a DC motoru.



Obr. 6.6 Schéma ukázkové linie při simulaci sériového oblouku

6.3 Ovládače, stykače a signalizace

Provoz simulací na panelu je ovládán několika ovládací napojenými na vstupy centrálního řídicího PLC. Na jeho výstupech jsou zapojeny ovládací cívky stykačů spínajících silové obvody panelu. Pomocné kontakty u přístrojů a stykačů vysílají signály do elektronického obvodu na plošném spoji, který řídí spínání LED pásek. Simulace může být kdykoli přerušena STOP tlačítkem a celý panel lze vypnout nouzovým zastavením. V následujících kapitolách jsou podrobněji rozebrány jednotlivé řídicí okruhy.

6.3.1 Spínače, přepínače

Všechny ruční ovládače jsou zapuštěny v přední straně panelu. Nouzové zastavení je provedeno červeným hříbkovým vypínačem s aretací a uvolnění aretace je možné pouze pomocí klíče. Vypínač nouzového zastavení při sepnutí rozepne vypínací kontakt zapojený v sérii s ovládací cívkou vstupního stykače napájení.

Simulace je spuštěna stiskem bílého tlačítka bez aretace START. Kdykoli v průběhu lze simulaci přerušit stiskem červeného tlačítka STOP. Obě tlačítka jsou

prosvětlená LED prvky s pracovním napětím 230 VAC. Tlačítka ovládají zapínací kontakty propojené na vstupy řídicího PLC, které pak vydává povely stykačům.

Pod každým přístrojem v ukázkové linii je umístěn prosvětlený přepínač napojený na ovládací cívku přemost'ovacího stykače přes pomocný kontakt přístroje. Jeho ovládním lze zapínat stykač bez signálu řídicího PLC. Jeho program totiž u některých poruch vydává povely k přemostění s nastavitelným časovým odstupem, aby přihlížející mohli nejprve vyhodnotit, který přístroj vybavil a že porucha je vypnuta. Sepnutím přepínače lze tuto vyčkávací dobu přeskočit a sepnout stykač s předstihem. Přepínač také slouží jako kryt signalizačního LED prvku, viz dále 6.3.4.

Typ poruchy je zvolen otočením třípolohového přepínače na pravé straně panelu. Na přepínač je připojeno celkem 6 kontaktních prvků, což vytváří mechanický odpor na rukojeti při otáčení. Proto může nastat situace, že při pomalém otáčení rukou jsou sepnuty dvě polohy zároveň. V řídicím PLC je tato situace ošetřena ověřovacím algoritmem, který kontroluje, jestli je v každý moment sepnuta právě jedna poloha.

Na spodní pravé straně panelu jsou umístěny dva potenciometry. První ovládá triakový měnič pro poruchu typu nebezpečný dotyk, druhý je pro nastavení úrovně napětí napájecího zdroje pro LED pásy.

6.3.2 Stykače

Spínací stykače pro napájení a obvody poruch jsou umístěny v rozvodnici na zadní straně panelu. Přemost'ovací stykače pro přístroje v ukázkové linii a zkratovací stykač jsou umístěny v mikrorozvodnicích blízko přístrojů, aby vodiče byly co nejkratší. Všechny stykače mají jmenovité napětí ovládací cívky 230 VAC.

Jmenovitý provozní proud přemost'ovacích stykačů je 63 A v kategorii užití AC-1. Výjimkou je stykač u jističe, který má proud 40 A, jelikož jistič je jednopólový přístroj, a proto bylo možné propojit dva kontakty stykače paralelně. Řazení kontaktů je 2NO,2NC – zapínací kontakty jsou k přemostění a vedení proudu kolem přístroje a vypínací kontakty slouží k odepnutí napájení k přístroji. Přístroje s elektronikou mají totiž vstupy pro vnitřní napájení připojeny k výstupním svorkám přístroje. Vložením vypínacího kontaktu se zamezí nežádoucímu provozu elektroniky ve vypnutých přístrojích.

Aby došlo k vyrovnání celkové impedance obvodu při zapnutých přístrojích a vypnutých s přemostěním, jsou mezi kontakty stykačů vloženy 1,5 m dlouhé úseky jednožilového vodiče průřezu 1,5 mm², celkově jde o přibližně 10 m izolovaných drátů. Ty fungují jako přídatný odpor pro případ simulace zkratu, kdy je přes přístroje s nadproudovou ochranou propuštěn na chvíli (po vypínací čas zkratové spouště) vysoký proud, který prochází přes sériově řazené přechodové odpory přístrojů a stykačů. Po vypnutí jsou přístroje přemostěny a proud protéká pouze přechodovým odporem kontaktů stykačů a proudového chrániče. Velikost přechodového odporu stykačů je několikanásobně menší než u přístrojů kvůli masivnější konstrukci vzhledem

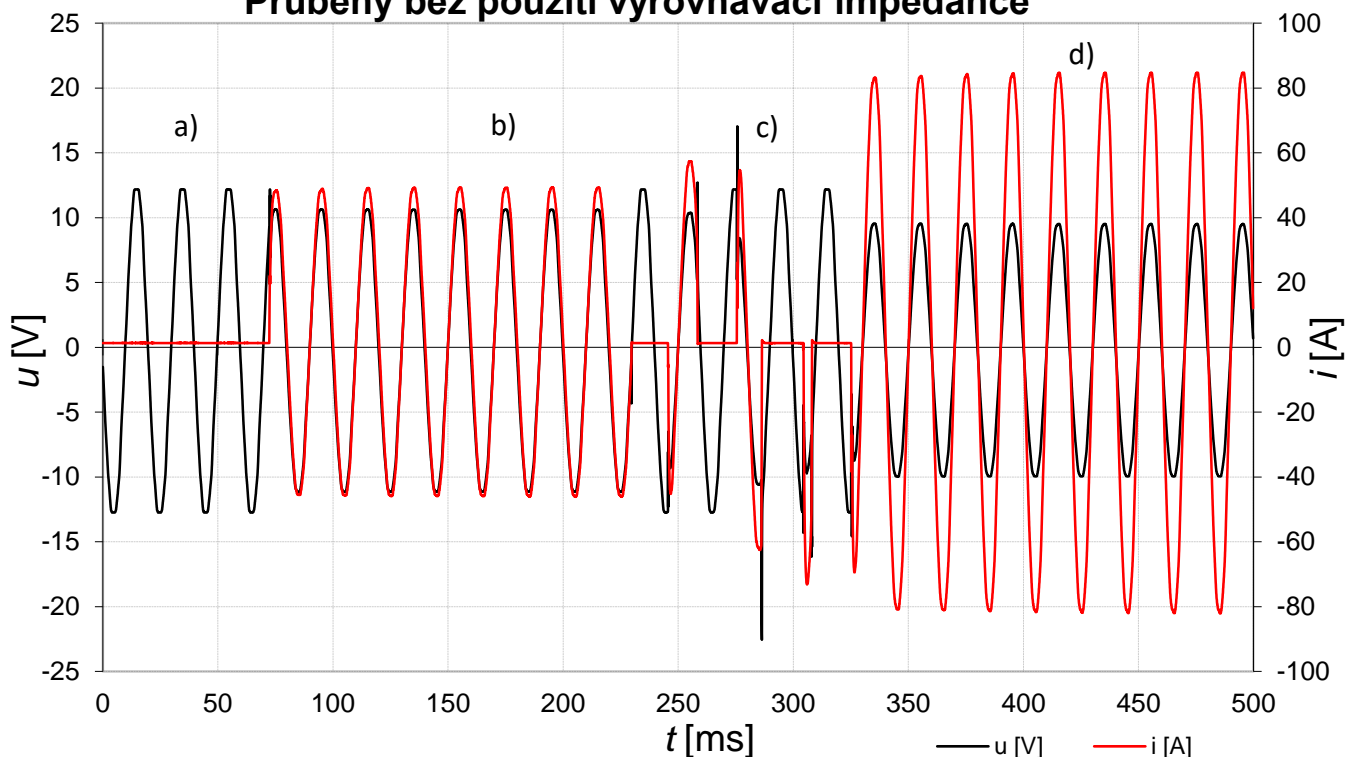
k většímu jmenovitému proudu a častějšímu spínání. Se skokovou změnou odporu v obvodu se mění i proud obvodem.

Na Obr. 6.8 lze vidět průběhy veličin v obvodu při simulaci zkratu v případě, že není použita dodatečná impedance. Napětí bylo měřeno na vstupu obvodu (na začátku ukázkové linie), proud byl měřen pomocí proudové sondy připojené na proudový transformátor 10/5. Vstupní napětí obvodu bylo nastaveno autotransformátorem připojeným na primární stranu pokusného transformátoru s převodem 220/24 V. Hodnota napětí byla upravena podle výchylky ampérmetru při průtoku proudu stykači a proudovým chráničem, kdy jsou přístroje s nadproudovou ochranou vybaveny (nastaveno takové napětí, aby proud po vybavení jističů byl 60 A). Po změření a vykreslení uvedeného průběhu bylo ale zjištěno, že proud přístroji nedosahuje požadovaných 60-ti ampér, ale pouze 35 A, což je na spodní hranici působení zkratové spouště charakteristiky B10. Přístroje nevybavily mžikově, protože elektromagnety v přístrojích nebyly schopny vyvinout dostatečnou sílu pro uvolnění volnoběžek. To se projevilo delším vypínacím pochodem, jak je znázorněno na Obr. 6.8. Pokud bylo zvýšeno vstupní napětí obvodu, dosáhl proud přístroji dostatečné hodnoty k mžikovému vybavení, ovšem následný proud přemost'ovacími stykači a proudovým chráničem dosahoval hodnot 100 až 120 A, což mělo za následek větší oteplení vodičů a byla by snížena životnost stykačů a proudového chrániče a možná i svaření jejich kontaktů.

Po identifikaci problému s rozdílným přechodovým odporem bylo navrženo uvedené řešení pomocí vložených vodičů. Byl zvolen dostatečně malý průřez vodičů, aby odpor byl co nejvyšší, avšak zároveň dostatečně velký průřez vodičů kvůli zachování jejich celistvosti při průchodu proudu. Postupným experimentováním byla nalezena potřebná délka vodičů a měření bylo zopakováno. Na Obr. 6.7 lze vidět výsledné průběhy s vloženou impedancí. Efektivní hodnota proudu procházejícího přístroji před jejich vybavením je prakticky totožná s následným proudem přes stykače a proudový chránič. Přídavný odpor v obvodu si vyžádal mírné zvýšení napájecího napětí.

Celý obvod se během měření skládal z autotransformátoru s výstupem připojeným na primární stranu pokusného transformátoru, vstupního stykače, který přepíná mezi napájením ze sítě a z transformátoru, z přístrojů a stykačů v ukázkové linii, vodičů průřezu 16 a 1,5 mm², kontrolního ampérmetru, měřícího proudového transformátoru a zkratovacího stykače. Mezi další stykače na panelu patří stykače pro spínání poruch, zkratovací stykač, přepínací stykač jiskřiště a stykače u transformátoru. Ostatní stykače se jmenovitým proudem $I_n = 25$ A jsou použity jako vstupní stykač a spínač zátěže.

Průběhy bez použití vyrovnávací impedance



a) - okamžik před sepnutím zkratovacího stykače:

$$U_{ef} = 8,7 \text{ V}; I_{ef} = 0 \text{ A}$$

b) - průchod příliš malého proudu přístroji:

$$U_{ef} = 7,4 \text{ V}; I_{ef} = 35 \text{ A}$$

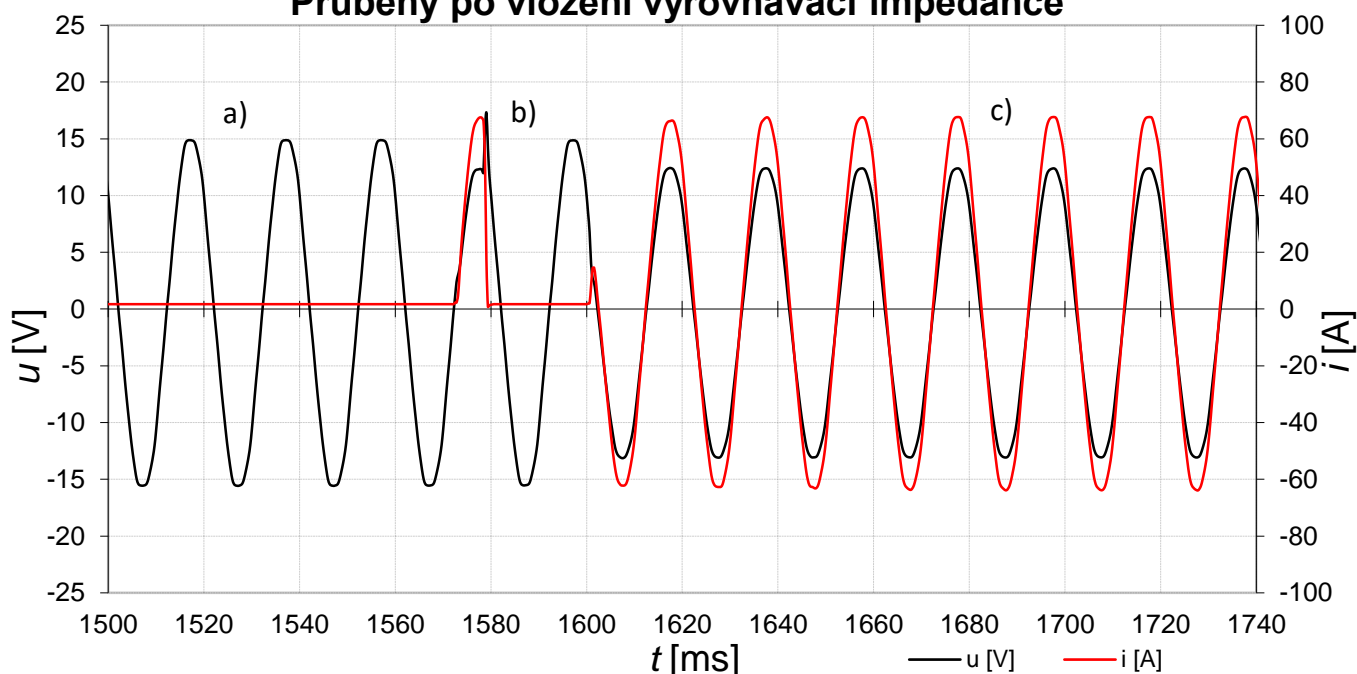
c) - vypínací pochody přístrojů

d) - průchod proudu proudovým chráničem a stykači:

$$U_{ef} = 6,7 \text{ V}; I_{ef} = 60 \text{ A}$$

Obr. 6.8 Průběhy při simulaci zkratu bez vyrovnávací impedance

Průběhy po vložení vyrovnávací impedance



a) - okamžik před sepnutím zkratovacího stykače:

$$U_{ef} = 10,6 \text{ V}; I_{ef} = 0 \text{ A}$$

b) - vypínací pochody přístrojů - mžikové vypnutí

c) - průchod proudu proudovým chráničem a stykači:

$$U_{ef} = 8,7 \text{ V}; I_{ef} = 48 \text{ A}$$

Obr. 6.7 Průběhy při simulaci zkratu s vyrovnávací impedancí

6.3.3 Řídicí PLC

Jako centrální řídicí jednotka slouží relé EASY819-AC-RC s 12 analog. vstupy a 6 reléovými výstupy spolu s rozšiřujícím modulem EASY410-DC-RE s 6 analog. vstupy a 4 reléovými výstupy. Oba řídicí přístroje jsou umístěny v rozvodnici na zadní straně panelu. Dodatečně bylo firmou rozhodnuto o přidání modulu vzdáleného displeje MFD-Titan s klávesnicí. Tento modul má napájecí napětí 24 VDC a je vhodnější pro montáž na dřevotřískovou desku (hořlavý materiál) kvůli revizi. Napájení přístrojů je zajištěno ze sítě a ze zdroje EASY200-POW s výstupním napětím 24 VDC.

Na vstupy řídicích modulů jsou připojeny signály z pomocných kontaktů a ovládacích spínačů na panelu. Program v PLC na základě těchto signálů spíná ovládací obvody a zobrazuje aktuální provozní stav na displeji spolu se zvolenými provozními parametry – typ poruchy, čekací doba stykačů, doba trvání simulace, chybná hlášení.

6.3.4 Signalizace a řízení osvětlení

Provozní stavy panelu jsou signalizovány LED prvky pod tlačítky START/STOP a na displeji. Pod tlačítkem spínání zátěže je umístěn bílý LED prvek signalizující zátěž v provozu.

Přepínače pod přístroji v ukázkové linii jsou podsvíceny RGB LED prvky signalizujícími stav přístroje – červená barva pro stav zapnuto, zelená pro stav vypnuto, žlutá pro stav vybaveno. Barevné odlišení mezi stavy zapnuto a vypnuto bylo navrženo podle principu značení stavu přístrojů v elektrotechnice, tedy zelená - bezpečí a červená - nebezpečný stav, sepnuto napětí. Pokud by bylo rozhodnuto o výměně barev, stačí přepojit přívodní vodiče do LED prvku. Signály pro LED prvky jsou odvozeny z polohy pomocných kontaktů přístrojů a zpracovány elektronikou.

Pro znázornění cesty proudu obvodem panelu jsou umístěny na povrchu panelu LED pásy s parametry 12 VDC, 120 LED/m, 9,6 W/m, čip 3528, IP20. Napájení LED pásků zajišťuje stmívatelný zdroj mn MeanWell LPF-25D-12 s parametry 12 VDC, 25W. Stmívání LED pásků je ovládáno potenciometrem 100 k Ω umístěným na přední straně panelu. Stmívatelný zdroj byl zvolen kvůli možnému oslnění při nedostatečném osvětlení v místnosti nebo naopak kvůli dostatečnému rozlišení při vyšším osvětlení. Ideální intenzitu osvětlení je tedy možné nastavit podle aktuálních podmínek prostředí v místě připojení. Jsou použity LED pásy dvou barev – bílá barva pro cestu pracovního proudu nebo cestu přes ukázkovou linii a červená barva pro cesty poruchových proudů. Osvětlovací LED pásy jsou umístěny po úsecích s nejmenší délkou 2,5 cm, aby byla dobře znázorněna zakřivená cesta proudu.

Spínání elektronické signalizace a LED pásků zajišťují relé a SMD tranzistory na desce elektroniky. Jejich řízení je odvozeno z poloh pomocných kontaktů a je zpracováváno elementárními logickými obvody tvořenými AND a OR hradly. Toto řešení bylo zvoleno kvůli jednoduchosti a nízké ceně součástek. Na vstupech

elektroniky jsou umístěny RC články kvůli potlačení rušení ze strmého náběhu proudu v silových vodičích při simulaci zkratu. Signálové vodiče mezi pomocnými kontakty, LED pásy a vstupy elektroniky jsou navrženy v provedení SYKFY. Deska s elektronikou je napájena ze zdrojů MeanWell HDR-15-12 a HDR-15-24 s parametry 15 W a 12, resp. 24 V. Připojen je také stmívatelný zdroj pro silové napájení LED pásků. Fungování elektronických obvodů již bylo vyzkoušeno a nyní chybí jen připojení vodičů.

6.4 Napájení, jištění, EMI filtr

Prívod panelu bude proveden jednofázovým pevně připojeným pohyblivým přívodem. Vstupní jištění je provedeno kombinovaným chráničojističem PFL7-10/1N/C/003 ($I_n = 10$ A, char. C, $I_{\Delta n} = 30$ mA). Napájení pomocných obvodů zajišťují dříve uvedené (6.3.3 a 6.3.4) zdroje mn. Při simulaci zkratu zajišťuje napájení ukázkové linie toroidní transformátor s parametry 230/9,5 V; 55 A s odbočkami.

Na vstupu panelu bude umístěn EMI filtr pro zamezení šíření rušení z panelu do instalace při simulaci poruchového oblouku. Rušení by mohlo způsobit kromě špatné funkce některých zařízení také vybavení obloukové ochrany, pokud by byla v místě připojení instalována. Přesné provedení EMI filtru je záležitostí následných montážních a doplňujících prací, neboť je nutné zvolit dostatečně kvalitní filtr s velkým útlumem ve vf oblasti. Přístroj AFDD je totiž podle normy [6] zkoušený na vypnutí obvodu s poruchovým obloukem, ve kterém je předražena maskovací zátěž nebo EMI filtr. Proto pravděpodobně nebude jednoduché zvolit typ filtru a v této práci již nebyl návrh zahrnut z důvodu nedostatku času.

6.5 Bezpečnost

Jelikož bude panel podléhat revizi, bylo třeba vyřešit otázky bezpečnosti, zejména ochranu před tepelnými účinky a ochranu před úrazem elektrickým proudem. Konstrukce panelu bude montována v čase po obhajobě této práce, proto je zde uveden pouze návrh v budoucím čase, který ale může být ještě pozměněn podle požadavků firmy, které budou upřesněny později.

Ochrana před úrazem elektrickým proudem

Ukázkový panel bude konstruován jako EZ třídy ochrany I. Všechny kovové kryty, chladiče přístupné dotyku a aluprofilů budou propojeny ochrannými vodiči na hlavní ochranný můstek v rozvodnici panelu. Na něj bude připojen ochranný vodič z pohyblivého přívodu. Jako základní ochrana slouží izolace vodičů, přepážky a kryty. Vodiče budou uloženy v kabelových kanálech na zadní straně a v rozvodnicích. Přístroje, které jsou ovladatelné z přední strany panelu, budou umístěny v samostatných mikrorozvodnicích s přístupem jen k ovládací páčce přístrojů. Transformátor bude

opatřen kovovým krytem sloužícím zároveň jako mechanická opora. Podobně tomu bude u jiskřiště, kde se budou jeho části zahřívat na vysokou teplotu. Ochrana při poruše je řešena automatickým odpojením od zdroje pomocí centrálního chráničojističe a ochranného pospojování neživých částí.

Ochrana před tepelnými účinky

Soustřeďuje se na 4 oblasti největšího vývinu tepla: jiskřiště, mařicí rezistory triakového měniče, transformátor a vyrovnávací impedance pro simulaci zkratu (vodiče $1,5 \text{ mm}^2$). Největší vývin tepla a povrchová teplota je na funkčních částech jiskřiště. Průchodem proudu a výskytem výbojů zde dochází k velkému zahřívání elektrod. Mezi jiskřiště a povrch panelu (dřevotříska) bude vložena nehořlavá podložka a jiskřiště bude upevněno v kovovém krytu s ventilačními průduchy. Po zhotovení celého panelu bude provedeno měření oteplení jednotlivých částí i povrchu desky a případně bude upraveno řešení chlazení.

Mařicí rezistory, jak již bylo zmíněno v 6.2.2, jsou použity k maření výkonu reziduálního proudu při simulaci nebezpečného dotyku. Tento výkon přeměněný v teplo je nutné rozptýlit do okolí nejlépe pomocí upraveného chladiče. Firma již podobné řešení zpracovala, ale jednalo se o poloviční výkon. Řešení se skládalo z krytu s mařicími rezistory, ve kterém byl umístěn tepelný výměník. Kapalina proudila ven z krytu do žebrového chladiče z počítače a teplo se rozptýlilo samovolným prouděním vzduchu. Po dohodě s firmou bylo domluveno využití podobného řešení s možným použitím ventilátoru.

Transformátor by měl podle zadání, které bylo odesláno externí firmě, být schopen vydržet krátkodobé přetížení jakému bude vystaven. Oteplení jeho povrchu při dlouhodobém přerušovaném provozu známo není, ale počítá se maximálně s několika desítkami Kelvinů. Při orientačním měření termokamerou během provozu po několika simulacích zkratu nebylo zatím zpozorováno výrazné oteplení oproti vyrovnávacím vodičům. Bude nutné provést dlouhodobější měření po ustálení provozu.

Vodiče pro vyrovnání impedance obvodu při zkratu budou uloženy v žebrovém kabelovém kanálu bez přítomnosti vodičů dalších obvodů. Během simulace dochází k jejich zahřívání, které bude po smontování panelu pravděpodobně více výrazné, jelikož budou vodiče umístěny vedle sebe v kanálu. V pracovním zapojení byly umístěny na okraj panelu ve volném vzduchu. Pokud bude při stálém provozu oteplení vodičů natolik vysoké, že bude ohrožena celistvost izolace, bude změněn průřez vodičů, popř. navrženo jiné řešení.

6.6 Mechanické části

Kvůli účelu zařízení je nutné řešit mechanickou odolnost panelu, a to nejen při statickém setrvání ale i při převozu na místo určení. Základním materiálem je dřevotřísková deska tloušťky 18 mm, což není z hlediska mechanické pevnosti dostatečná hodnota vzhledem k množství přístrojů. Odhadovaná hmotnost desky je 9-10 kg, ale hmotnost může ještě klesnout po vyřezání otvorů. Sečtená hmotnost všech přístrojů, rozvodnic, zdrojů a vodičů je kolem 13 kg. K tomu je třeba připočítat transformátor, chladiče, kryty a kanály. Panel tak bude moci být přenášet minimálně dvěma osobami. Tato kapitola je opět uvedena jako návrh montáže, který byl prozatím dohodnut s firmou.

Na základě zkušeností firmy s mechanickou odolností podobných panelů bylo rozhodnuto o zpevnění horní části desky s největšími výřezy plechem s tloušťkou 2 mm. Kvůli velikosti výřezů by totiž zbývající části samotné dřevotřísky nemusely unést tíhu přístrojů a došlo by ke zlomení. Podobné řešení bude pravděpodobně třeba při montáži transformátoru a rozvodnic. Upevnění ze zadní strany je totiž možné jen krátkými vruty, které nesmějí přesahovat na přední stranu panelu kvůli narušení potisku.

Přístroje v ukázkové linii spolu s jejich přemosťovacími stykači, zkratovacím stykačem a vstupním chráničojističem budou umístěny v mikrorozvodnicích připevněných na desku z izolantu. Ta bude v několika málo bodech připevněna úhelníky ke zpevňovacímu plechu. Vznikne demontovatelný modul pro usnadnění údržby přístrojů. Vodiče budou vyústěny do silových a signálových konektorů a svorkovnic.

Všechny ostatní přístroje kromě několika vybraných (např. vstupní jištění) budou instalovány na DIN lišty v rozvodnicích na zadní straně. Zdroje mn, desky elektroniky zde budou umístěny také.

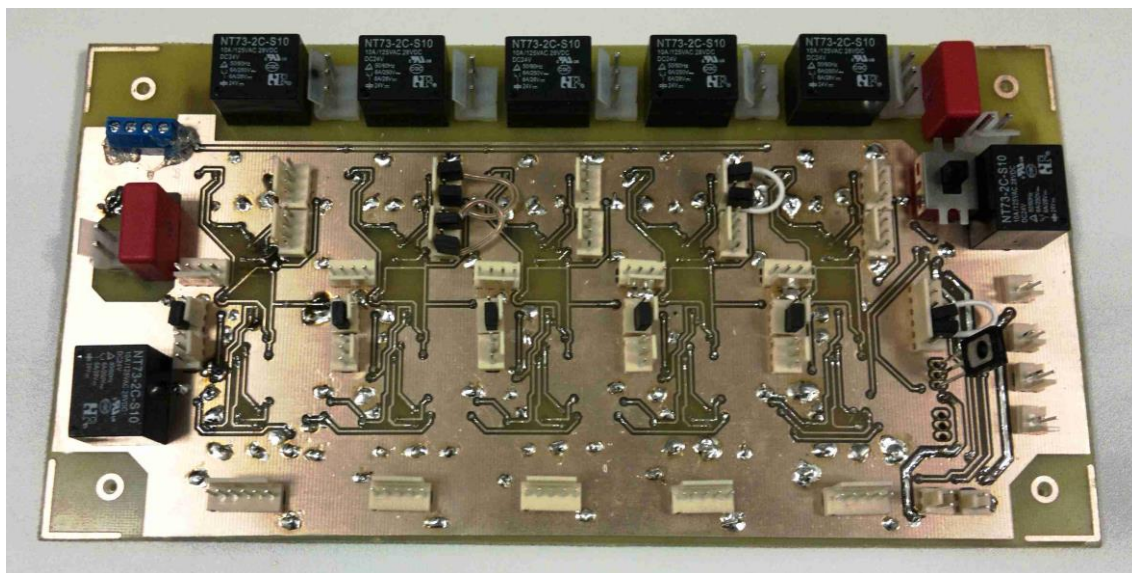
Způsob ukládání panelu do převozového zařízení a jeho přenos vyžaduje, aby v těsné blízkosti okraje desky nebyly žádné přístroje. Všechna zařízení, přístroje a rozvodnice se tedy co nejvíce koncentrují ke geometrickému středu panelu.

6.7 Design

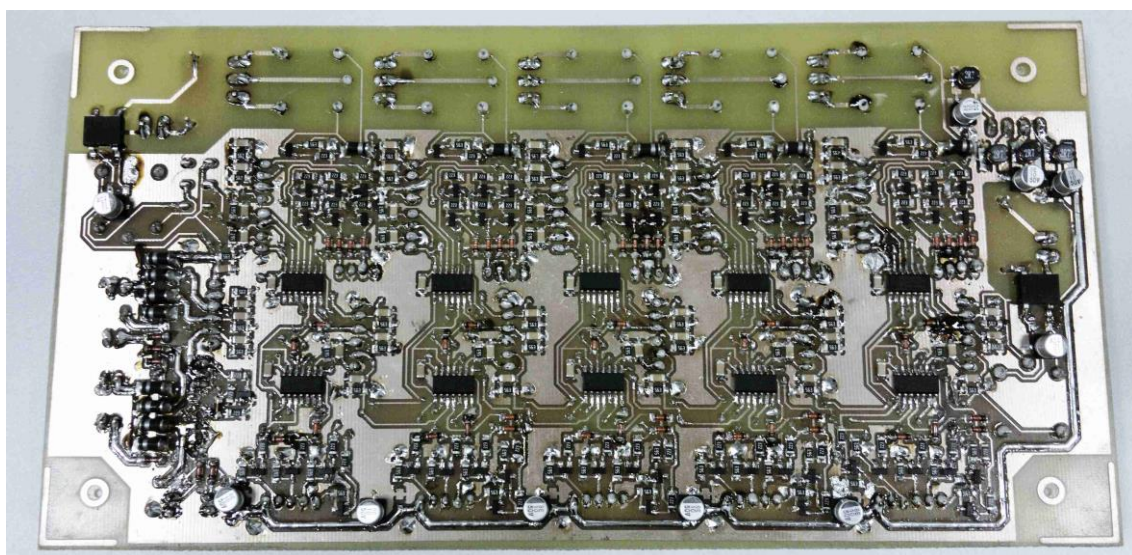
Potisk přední strany panelu odpovídá požadavků firmy a koresponduje s jednotným vizuálním stylem. V levém dolním rohu bude umístěna ilustrativní grafika vztahující se k problematice ochranných přístrojů používaných v domácnosti – stupně ochrany při použití jednotlivých přístrojů. Ovládače byly zvoleny z novější výrobní řady.

7 DOKUMENTACE

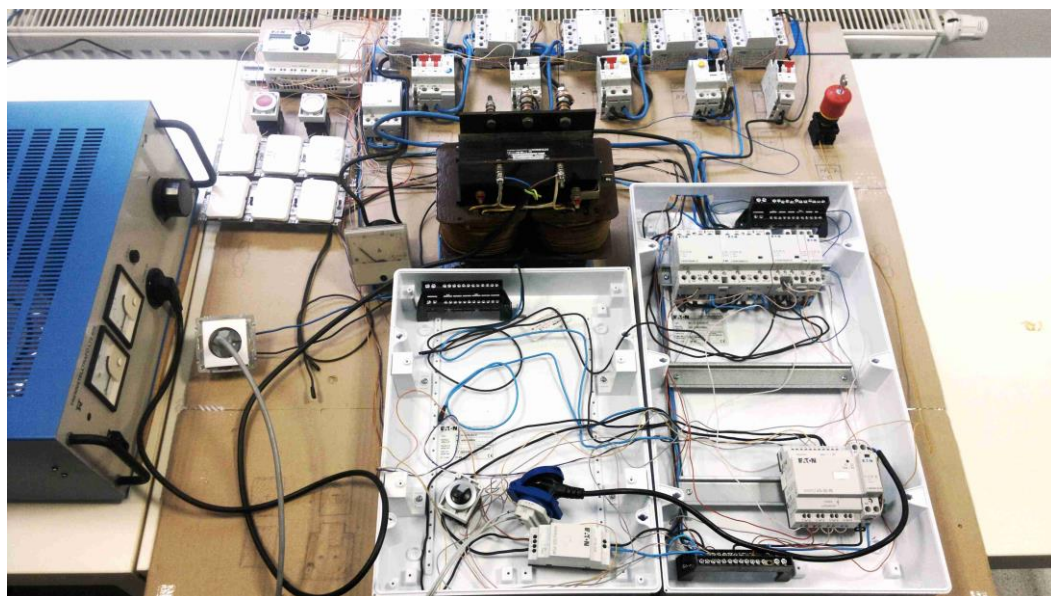
Bylo zpracováno schéma zapojení silových obvodů, schéma zapojení elektroniky a výkres výřezů v desce panelu spolu s návrhem potisku. Schémata jsou uvedena v přílohách této práce. Při kreslení byly využity schématické značky umístěné na webu firmy Eaton Elektrotechnika s.r.o. [8].



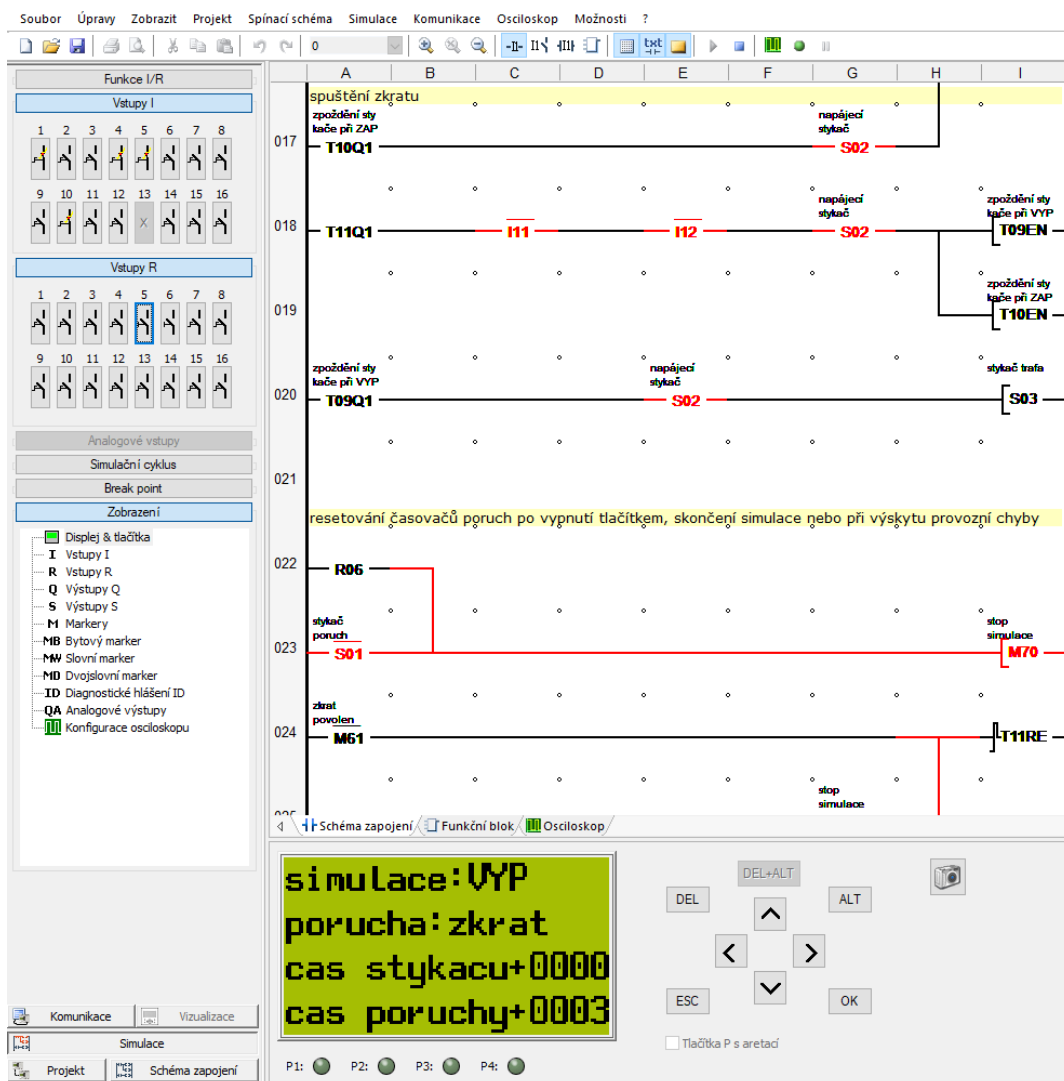
Obr. 7.1 Osazená deska elektroniky pro řízení LED pásků - strana BOTTOM



Obr. 7.2 Osazená deska elektroniky pro řízení LED pásků - strana TOP



Obr. 7.3 Fungující pracovní zapojení panelu v laboratoři bez elektronických obvodů



Obr. 7.4 Náhled programovacího softwaru easySoft

8 ZÁVĚR

Byly porovnány vlastnosti používaných ochranných přístrojů v instalacích nn a situace výskytu výbojů v obvodech nn. Po dohodě s firmou byly vybrány přístroje instalované v ukázkové linii a zvoleny tři druhy poruch, které bude panel simulovat: zkrat, nebezpečný dotyk a sériový poruchový oblouk.

Princip simulace zkratu spočívá v nuceném vybavení zkratové spouště nadproudových přístrojů v ukázkové linii pomocí zkratování pracovních vodičů na konci linie a připojení snižujícího síťového transformátoru na vstup obvodu. Sekundární napětí transformátoru bylo nastaveno tak, aby vzniklý proud dosahoval hodnoty ideálně 55 A, což je v úseku okamžité zkratové spouště vypínací charakteristiky jističe B10 podle ČSN EN 60898. Kvůli úspoře hmotnosti a rozměrů byl zvolen poddimenzovaný toroidní transformátor, jehož návrh a výroba byla zadána externí firmě vzhledem k nedostatku času. Po dodání transformátoru bylo provedeno orientační měření výstupního proudu, které bylo úspěšné.

Vyvolání reziduálního proudu při simulaci nebezpečného dotyku je zajištěno triakovým měničem s mařicími rezistory. Z fázového vodiče na konci linie je vyvedena odbočka do měniče, kde je fázovým řízením triakem regulováno napětí na rezistorech, čímž je vyvolán reziduální proud s velikostí nastavitelnou ovládacím potenciometrem. Proud je sveden do nulového vodiče na začátku linie, aby nedocházelo k vybavení centrálního jištění panelu nebo nadřazeného jištění instalace v místě připojení panelu.

Podle poznatků zjištěných experimentováním s různými typy elektrod bylo navrženo upravené jiskřiště pro simulaci sériového poruchového oblouku. Jako nejlepší kombinace elektrod se ukázala dvojice kontakt z jističe IJV a wolframová svařovací elektroda pro TIG. Princip vývinu výbojů mezi kontakty původně prováděný manuálně byl nahrazen automatickým mechanismem se stejnosměrným motorkem, převodovkou a klikou. Vzhledem k velkému ohrožení požárem nebo dotyku živých částí bylo jiskřiště pracovníčně uloženo do kovového uzemněného krytu, jelikož se očekává další vývoj pro sladění s požadavky zadávající firmy. Funkční životnost jiskřiště je mírně omezena odpařováním materiálu z povrchu kontaktu.

Na základě požadavků firmy byl zhotoven koncept ukázkového panelu prezentujícího funkční schopnosti ochranných přístrojů v rezidenčních aplikacích. Koncept zahrnuje kromě silových a napájecích obvodů pro potřeby simulace poruch také pomocné řídicí a signalizační obvody. Pro snadnou obsluhu byl panel vybaven řídicím PLC modulem se vzdáleným displejem. Programování PLC bylo provedeno v programu dodaném firmou, který při sestavování kódu používá metodu funkčních bloků. Silové obvody byly vybaveny stykači pro přemostění vybavených přístrojů v ukázkové linii, stykači pro spínání poruch a pomocnými stykači napájení a zátěže. Ovládání stykačů je zajištěno řídicím PLC, které zpracovává povely z ovládacích prvků na čelní straně panelu. Kvůli prezentačním účelům byly navrženy signalizační LED

pásky ukazující cestu proudu. Spínání pásků zajišťuje vyvinutý elektronický obvod s logickými obvody v provedení SMD. Byl zpracován výkres pro výrobu základové konstrukční desky obsahující kótované rozměry a pozice výřezů, návrh prostorového rozložení prvků na přední i zadní části a návrh grafického potisku.

Při vývoji panelu byly využity znalosti z oborů silnoproudé a slaboproudé elektrotechniky, EMC, automatizace pomocí PLC a konstruování. Vzniklé problémy byly vyřešeny aplikováním specifických řešení s ohledem na očekávané provozní, konstrukční a bezpečnostní parametry, kterým bude zařízení vystaveno. Kromě základního požadavku na funkčnost bylo třeba zvážit i bezpečnost, prostorové uspořádání a hmotnost panelu, jelikož se bude jednat o přenosné zařízení. V rámci práce byl kvůli nedostatku času přenechán vývoj některých prvků externím firmám místo návrhu a výroby vlastních zařízení nebo byla zařízení zakoupena (zdroje mn, výřezy a potisk desky). V původním plánu byl i vlastní návrh a výroba snižujícího transformátoru, ale kvůli obtížnému výpočtu především v oblasti ověření oteplení byl vývoj transformátoru přenechán jiné firmě.

Panel je sestaven ve fungujícím pracovním zapojení, na kterém byly otestovány všechny principy simulace poruch a pomocné obvody. Funkčnost zapojení se ověřila několika měřeními. Dále bude dokončen vývoj chlazení mařicích rezistorů, navržen filtr EMI pro zamezení přenášení rušení do sítě v místě připojení panelu, upraveno jiskřiště do konečné finální podoby, rozšířen program řídicího PLC a dohodnuta metodika montáže. Po sestavení konstrukčních a mechanických částí, osazení přístrojů a zapojení silových, ovládacích a signalizačních obvodů budou vybrané části panelu podrobeny měření oteplení a ověření mechanické odolnosti. Bude zhotovena technická dokumentace a po provedení revize budou oba ukázkové panely předány uživatelům, tedy firmě a FEKT.

Literatura

- [1] *Aplikovaná fyzika a moderní elektronika* [online]. Slovanské gymnázium Olomouc: Repronis s. r. o., Ostrava, 2007, s. 176 [cit. 2018-10-24]. ISBN 987-80-7329-158-7. Dostupné z: http://ufm.sgo.cz/ke_stazeni/Aplikovana_fyzika.pdf. [Online]
- [2] HAVELKA, Otto a kolektiv. *Elektrické přístroje*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1985.
- [3] *Ochrana-proti-pozaru-v-rodinných-domech-a-bytech-s-AFDD-Bc-Jan-Marek.pdf*: prezentace k odbornému semináři In: MAREK, Jan. Eaton Elektrotechnika, 2015 [cit. 2018-12-02].
- [4] *Katalog: Instalační přístroje* [online]. In: Praha: Eaton Elektrotechnika, 2015 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/cz/katalogy.html>.
- [5] *Pavouk 3.2.2: Program pro dimenzování sítí NN osazených jistícími přístroji Eaton* [online]. In: SLAVATA, Petr. Praha: Eaton Elektrotechnika [cit. 2018-11-30].
- [6] ČSN EN 62606: *Obecné požadavky na obloukové ochrany*. Praha: ÚNMZ, 2014.
- [7] *Triakový regulátor výkonu 230V/10A*. STAVEBNICE MODULY TIPa [online]. Opava: Tipa, spol. s r.o., 2006 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.stavebnice.postreh.com/select.php?link=PT019>. [Online]
- [8] *Značky DXF/DWG* | Eaton Elektrotechnika s.r.o. [online]. Praha: Eaton Elektrotechnika, 2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/cz/znacky-dxf-dwg.html>. [Online]
- [9] *Afdd_katalogovy_list.pdf* [online]. Praha: Eaton Elektrotechnika, s. 7 [cit. 2018-11-24]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/cz/katalogy.html>. [Online]
- [10] *Afdd_odstranovani_zavad_spojene.pdf*. In: Eaton Elektrotechnika s.r.o. [online]. Praha: Eaton, 2018 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: http://www.eatonelektrotechnika.cz/_files/upload/content/afdd_odstranovani_zavad_spojene.pdf. [Online]

Seznam symbolů, veličin a zkratek

AC	...	střídavý proud (alternate current)
ACB	...	vzduchový jistič (Air Circuit Breaker)
AFD	...	jednotka pro detekci poruchového oblouku (Arc Fault Detection unit)
AFDD	...	přístroj pro detekci poruchového oblouku (Arc Fault Detection Device), zde je zkratka také uváděna pro výraz „proudový chránič s nadproudovou a obloukovou ochranou“ od firmy EATON
aM	...	typ vypínací charakteristiky pojistek
AND	...	logický součin
BEPR	...	zkratka studijního předmětu Elektrické přístroje, vyučovaného na VUT FEKT
char. B, C, D	...	typy vyp. charakteristik instalačních jističů
CY	...	druh jednožilového vodiče s měděným jádrem
ČSN	...	česká technická norma
DC	...	stejnosměrný proud (direct current)
DIN	...	německá technická norma (Deutsche Industrie Norm)
EMI	...	elektromagnetická interference
EN	...	evropská norma
EPS	...	elektrická požární signalizace
ES	...	elektrizační soustava
EZ	...	elektrické zařízení definované dle ČSN 33 0010
FEKT	...	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
gG, gTr	...	typ vyp. charakteristiky pojistek
IEC	...	Mezinárodní elektrotechnická komise (International Electrotechnical Commission)
IP	...	stupeň ochrany krytem (International Protection nebo Ingress Protection) definovaný v ČSN EN 60529
IR	...	infračervená oblast elektromagnetického spektra (Infrared)
LED	...	světloemitující dioda (Light-Emitting Diode)
LPL	...	úroveň ochrany před bleskem (Lightning Protection Levels)
LPZ	...	zóna ochrany před bleskem (Lightning Protection Zones)
LV	...	nízké napětí (Low Voltage) definované podle IEC
mn	...	malé napětí definované podle ČSN – napětí jmenovité hodnoty mezi fázemi do 50 V pro střídavou síť
MCB	...	miniaturní jistič (Miniature Circuit Breaker)
MCCB	...	kompaktní jistič (Molded Case Circuit Breaker)
N	...	nulový vodič
NC	...	vypínací kontakt (Normally Closed)

nn	...	nízké napětí definované podle ČSN – napětí jmenovité hodnoty mezi fázemi od 50 V včetně do 1000 V pro střídavou síť	
NO	...	spínací kontakt (Normally Open)	
OR	...	logický součet	
PE	...	ochranný vodič	
PEN	...	vodič slučující funkci ochranného a nulového vodiče	
PLC	...	programovatelný logický kontrolér	
PVC	...	polyvinylchlorid	
RCBO	...	proudový chránič s nadproudovou ochranou (residual-current circuit breaker with overcurrent protection)	
RCCB	...	proudový chránič (Residual Current Circuit Breaker)	
RGB	...	vícebarevná (Red-Green-Blue)	
SELV	...	ochrana bezpečným malým napětím (Safety Extra Low Voltage)	
SMD	...	součástka pro pájení na povrch (Surface Mount Device)	
SYKFY	...	druh sdělovacího kabelu pro vnitřní použití	
TIG	...	obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu (Tungsten Inert Gas welding)	
TN-C	...	typ sítě, ve které jsou neživé části přímo spojeny se záměrně uzemněným uzlem zdroje vodičem slučujícím funkci středního a ochranného vodiče (PEN)	
TN-S	...	typ sítě, ve které jsou neživé části přímo spojeny se záměrně uzemněným uzlem zdroje pomocí ochranného vodiče (PE), funkce nulovacího a ochranného vodiče je rozdělena zvlášť do N, resp. PE vodiče	
typ -, G, S	...	typy vypinacích charakteristik proudových chráničů	
UTEE	...	Ústav teoretické a experimentální elektrotechniky	
UV	...	ultrafialová oblast elektromagnetického spektra (UltraViolet)	
UVEE	...	Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky	
vř	...	vysokofrekvenční	
VUT	...	Vysoké učení technické v Brně	
WC20	...	svařovací wolframová elektroda legovaná cerem (2,0 % Ce ₂ O ₃)	
1f	...	jednofázový	
I_n	...	jmenovitý proud	[A]
$I_{\Delta n}$...	jmenovitý reziduální proud	[mA]
I_{cn}	...	jmenovitá vypínací schopnost	[kA]
U_e	...	jmenovité provozní napětí	[V]

Seznam odkazovaných norem

ČSN 33 0010 ed. 2	... Elektrická zařízení - Rozdělení a pojmy
ČSN 33 2000-4-41 ed. 3	... Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem
soubor norem ČSN 33 2000-7	... Elektrické instalace nízkého napětí – Část 7: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech
ČSN 33 2130 ed. 3	... Elektrické instalace nízkého napětí - Vnitřní elektrické rozvody
ČSN EN 60529 (330330)	... Stupně ochrany krytem (krytí - IP kód)
ČSN EN 60898-2 ed. 2 (354170)	... Elektrická příslušenství - Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací - Část 2: Jističe pro střídavý a stejnosměrný proud
ČSN EN 60947-2 ed. 4 (354101)	... Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí – Část 2: Jističe
ČSN EN 60947-4-1 (354101)	... Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí – Část 4-1: Stykače a spouštěče motorů – Elektromechanické stykače a spouštěče motorů
ČSN EN 61008-1 ed. 3 (354181)	... Proudové chrániče bez vestavěné nadproudové ochrany pro domovní a podobné použití (RCCB) - Část 1: Obecná pravidla
ČSN EN 62606 (354196)	... Obecné požadavky pro obloukové ochrany

Seznam příloh

Příloha A: Měření, použité přístroje

A1: Seznam měřicích přístrojů

A2: Použité podpůrné přístroje

A3: Záběry pořízené termokamerou FLIR

Příloha B: Elektronika

B1: Obrazec DPS řídicí elektroniky – strana TOP

B2: Obrazec DPS řídicí elektroniky – strana BOTTOM

B3: Obrazec DPS triakového měniče

B4: Schéma elektronických obvodů

Příloha C: Schéma silových obvodů

Příloha D: Výkres výřezů

Příloha E: Program řídicího PLC – na přiloženém CD

Příloha A1: Seznam měřicích přístrojů

- proudový transformátor SLLP, Metra Blansko, v.č. 1052096, převod 100/5 A
- proudová sonda N2774A, Agilent, v.č. JP42001046, 0,1V/A, 15A peak
- osciloskop DSO-X 3012A, Agilent, v.č. MI52160820, 100MHz
- oddělovací transformátor OT230.0012, Diametral, v.č. 158

Příloha A2: Použité podpůrné přístroje



Obr. A2.1 Pokusný transformátor 2000 VA, 220/24 V, 50 A

Příloha A3: Záběry pořízené termokamerou FLIR



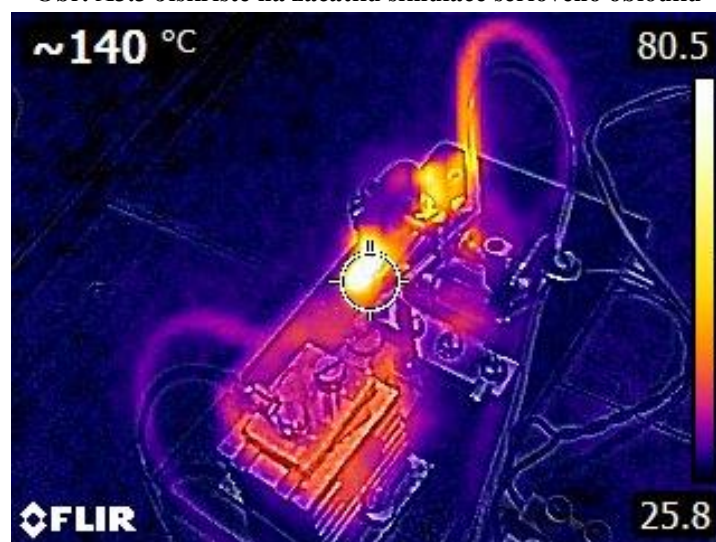
Obr. A3.1 Ukázková linie po několika simulacích zkratu (oteplení přemostňovacích stykačů)



Obr. A3.2 Ukázková linie při probíhající simulaci zkratu (oteplení vyrovnávací impedance)



Obr. A3.3 Jiskřiště na začátku simulace sériového oblouku

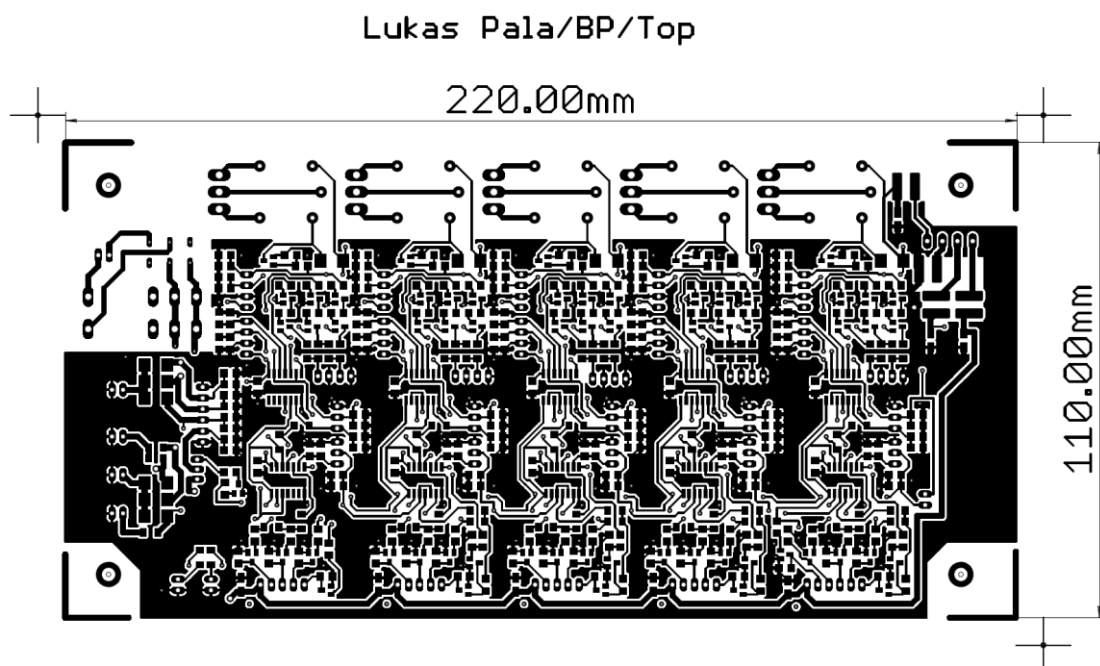


Obr. A3.4 Jiskřiště před koncem simulace sériového oblouku

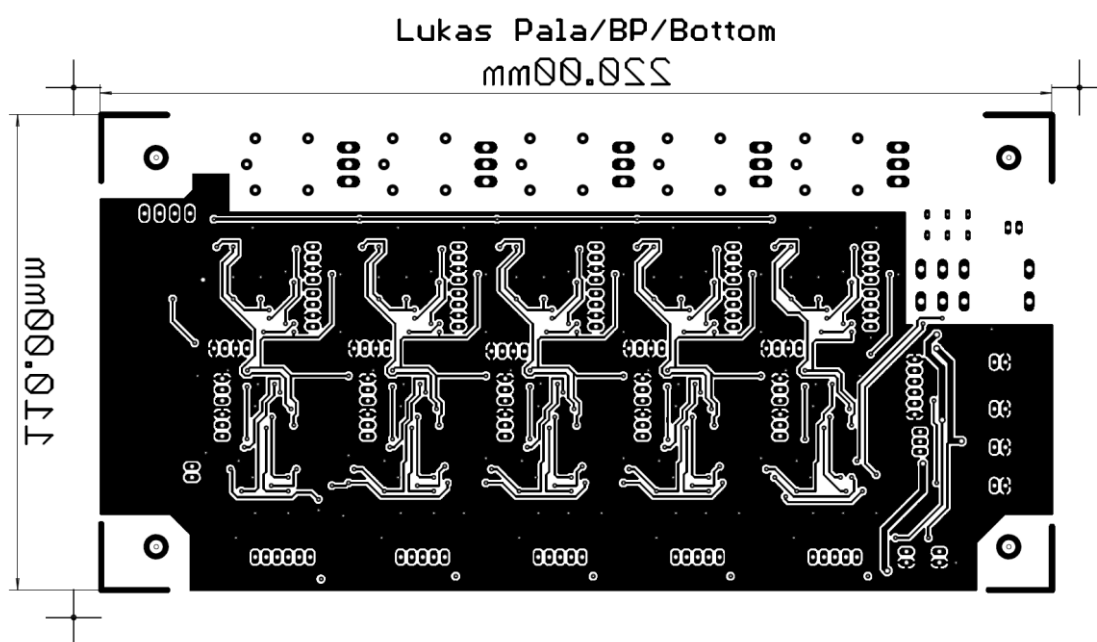


Obr. A3.5 Mírné oteplení transformátoru po několika simulacích zkratu (nebylo ještě dosaženo maximálního ustáleného oteplení, vpravo nahoře stykač KM2.2 protékaný „zkratovým“ proudem)

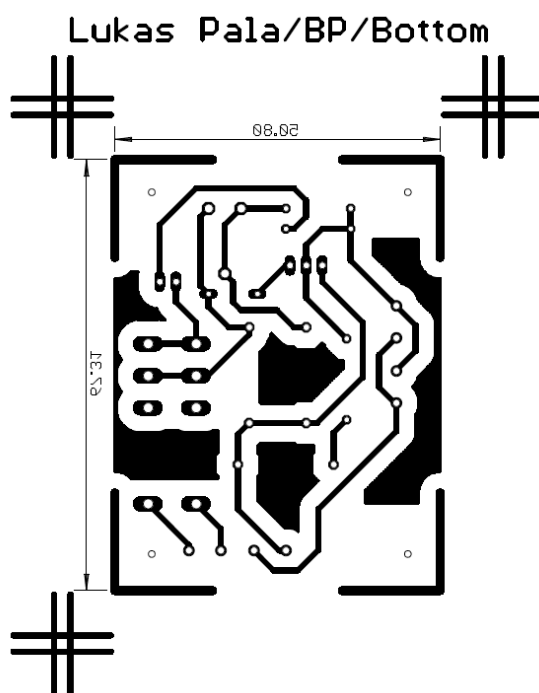
Příloha B1: Obrazec DPS řídící elektroniky – strana TOP



Příloha B2: Obrazec DPS řídící elektroniky – strana BOTTOM



Příloha B3: Obrazec DPS triakového měniče

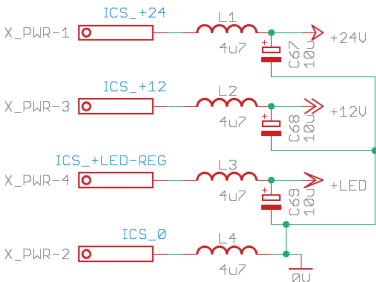


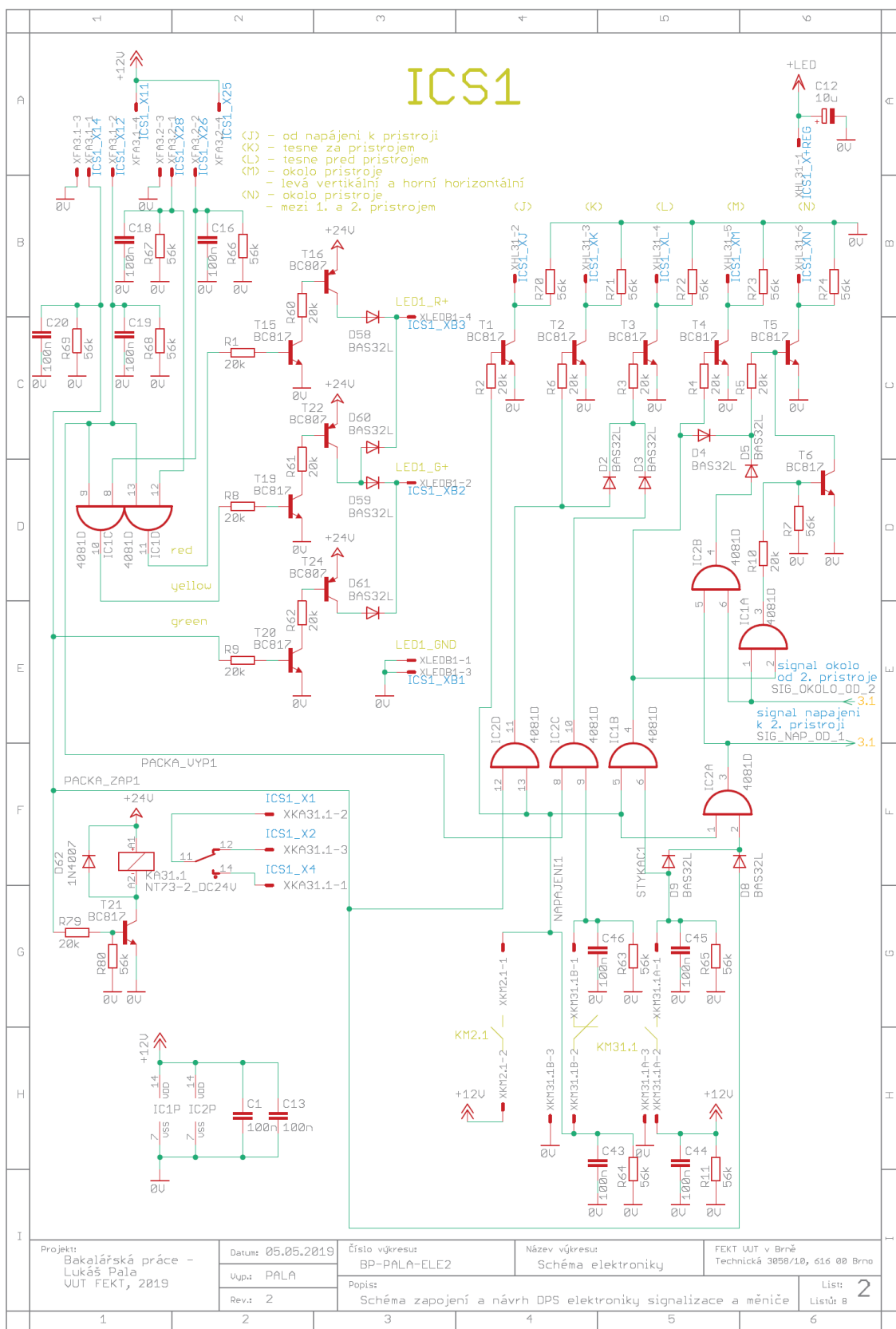
Příloha B4: Schéma elektronických obvodů

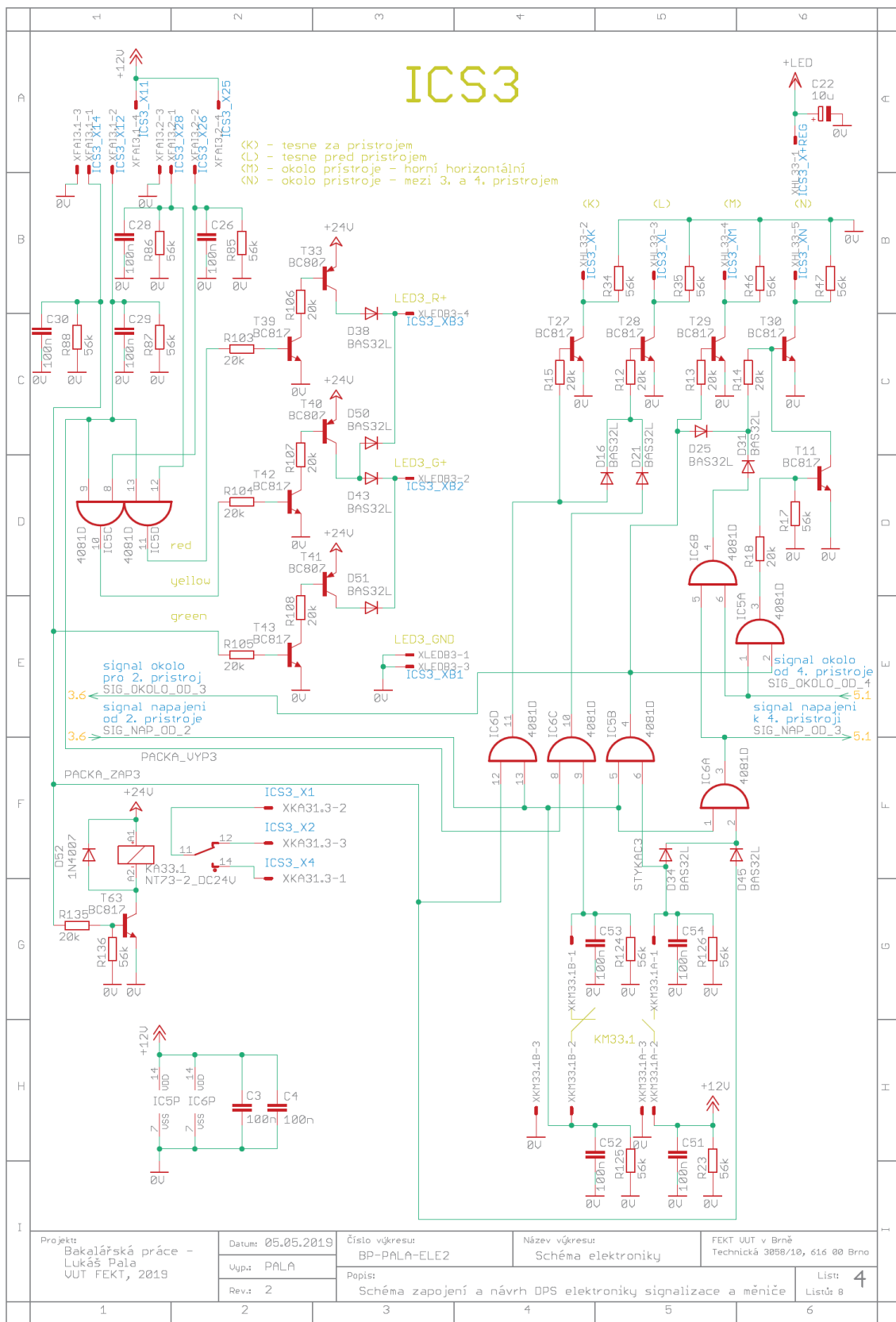
	1	2	3	4	5	6	
A							A
B							B
C							C
D							D
E							E
F							F
G							G
H							H
I							I
	1	2	3	4	5	6	

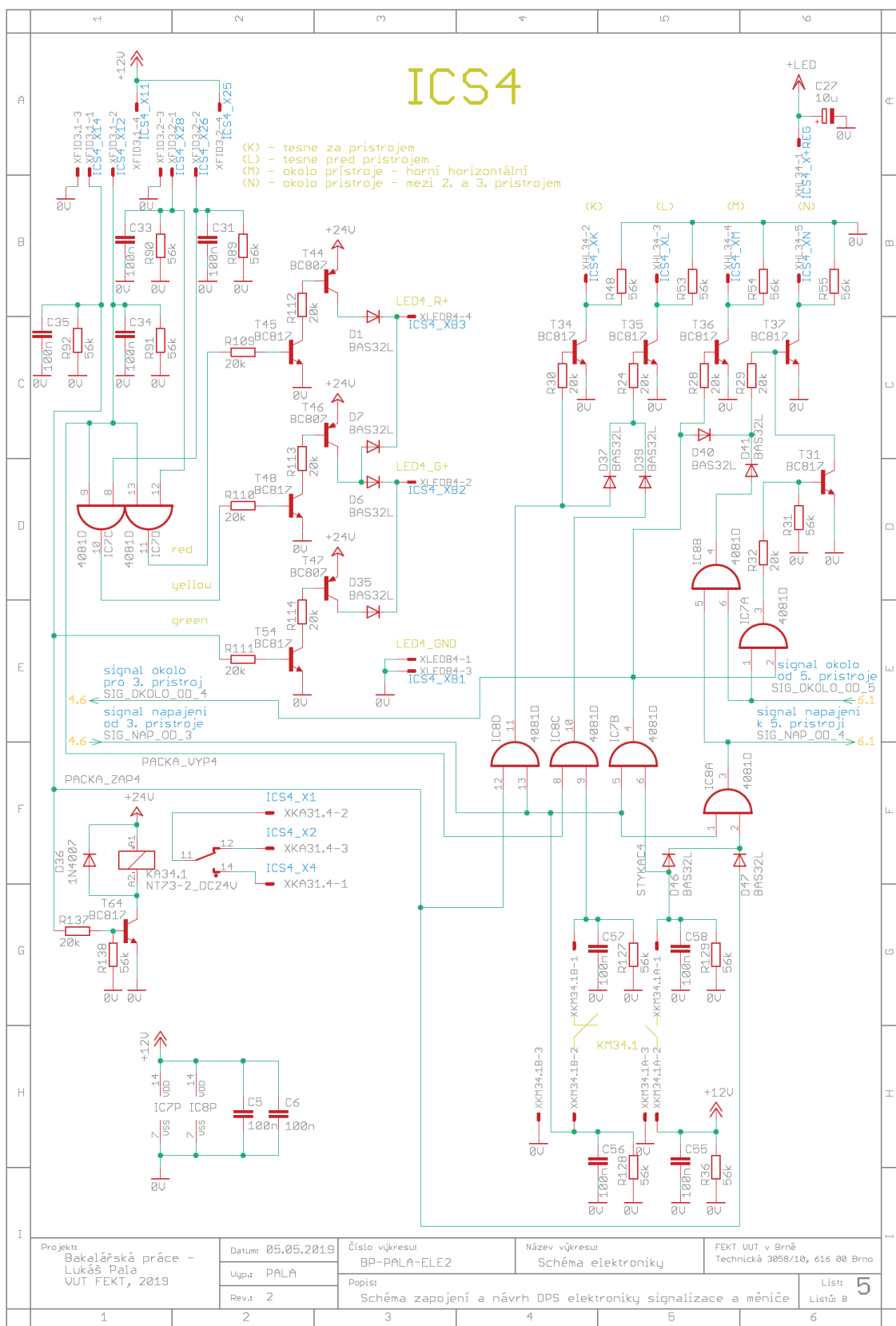
Projekt	Bakalářská práce - Lukáš Pala VUT FEKT, 2019
Popis projektu	Ukázkový panel funkce detektoru oblouku VUT FEKT, UVEE, 2019
Číslo výkresu	BP-PALA-ELE2
Název výkresu	Schéma elektroniky
Popis výkresu	Schéma zapojení a návrh DPS elektroniky signalizace a měniče
Adresa	FEKT VUT v Brně, Technická 3058/10, 616 00 Brno
Datum	05.05.2019
Vypracoval	Lukáš Pala
Revize	2
Listů	8

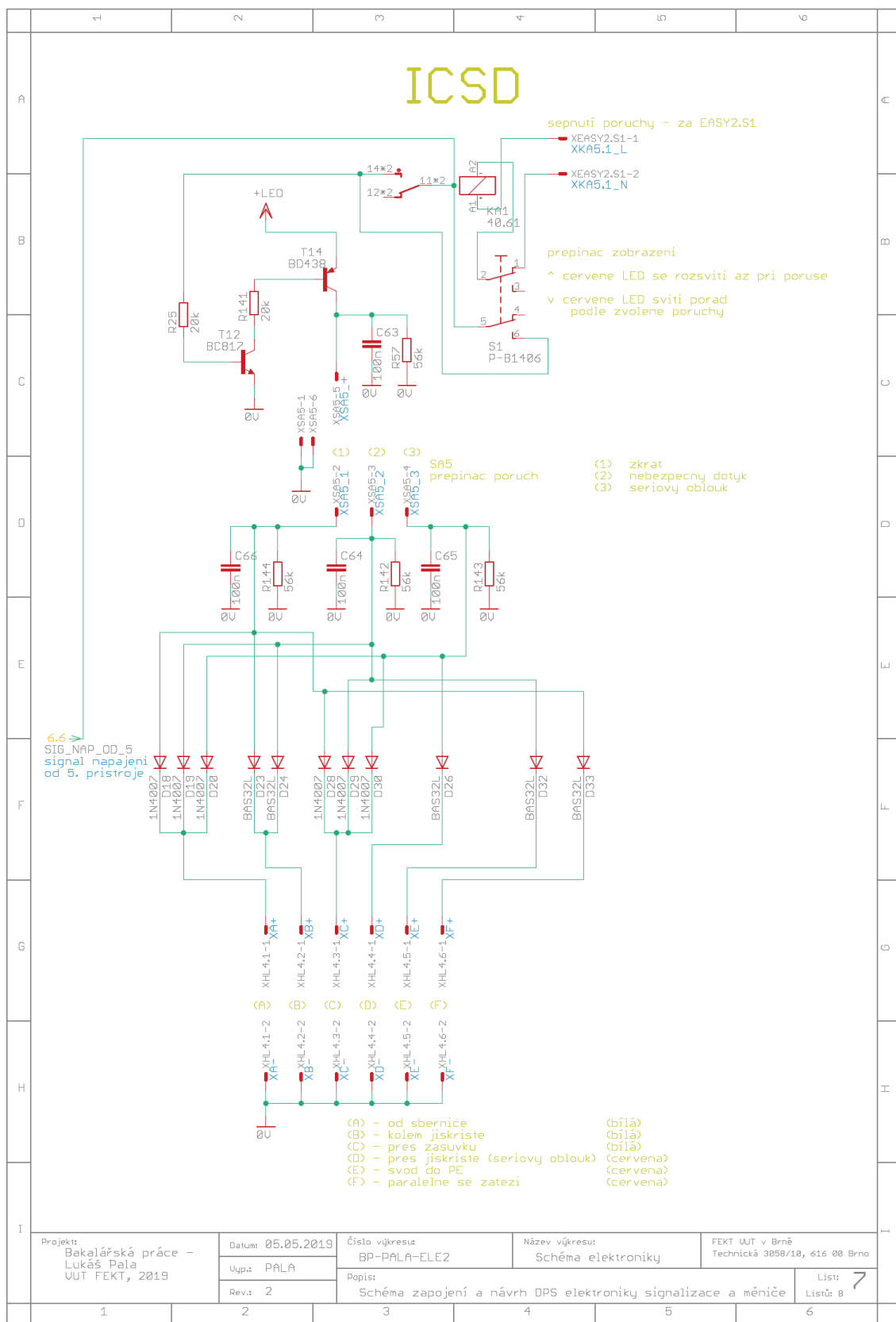
str.	obsah
1	vstupní LC články
2-6	signalizace u přístroju
7	signalizace u poruch
8	triakový měnič

	1	2	3	4	5	6														
A	ICS - vstup																			
B																				
C																				
D																				
E																				
F																				
G																				
H																				
I	<table><tr><td rowspan="3">Projekt: Bakalářská práce - Lukáš Pala VUT FEKT, 2019</td><td>Datum: 05.05.2019</td><td rowspan="4">Číslo výkresu: BP-PALA-ELE2</td><td rowspan="4">Název výkresu: Schéma elektroniky</td><td colspan="2" rowspan="3">FEKT VUT v Brně Technická 3058/10, 616 00 Brno</td></tr><tr><td>Vyp.: PALA</td></tr><tr><td>Rev.: 2</td></tr><tr><td colspan="5">Popis: Schéma zapojení a návrh DPS elektroniky signalizace a měniče</td><td> Listů: 1 Listů: 8 </td></tr></table>						Projekt: Bakalářská práce - Lukáš Pala VUT FEKT, 2019	Datum: 05.05.2019	Číslo výkresu: BP-PALA-ELE2	Název výkresu: Schéma elektroniky	FEKT VUT v Brně Technická 3058/10, 616 00 Brno		Vyp.: PALA	Rev.: 2	Popis: Schéma zapojení a návrh DPS elektroniky signalizace a měniče					Listů: 1 Listů: 8
Projekt: Bakalářská práce - Lukáš Pala VUT FEKT, 2019	Datum: 05.05.2019	Číslo výkresu: BP-PALA-ELE2	Název výkresu: Schéma elektroniky	FEKT VUT v Brně Technická 3058/10, 616 00 Brno																
	Vyp.: PALA																			
	Rev.: 2																			
Popis: Schéma zapojení a návrh DPS elektroniky signalizace a měniče					Listů: 1 Listů: 8															
	1	2	3	4	5	6														




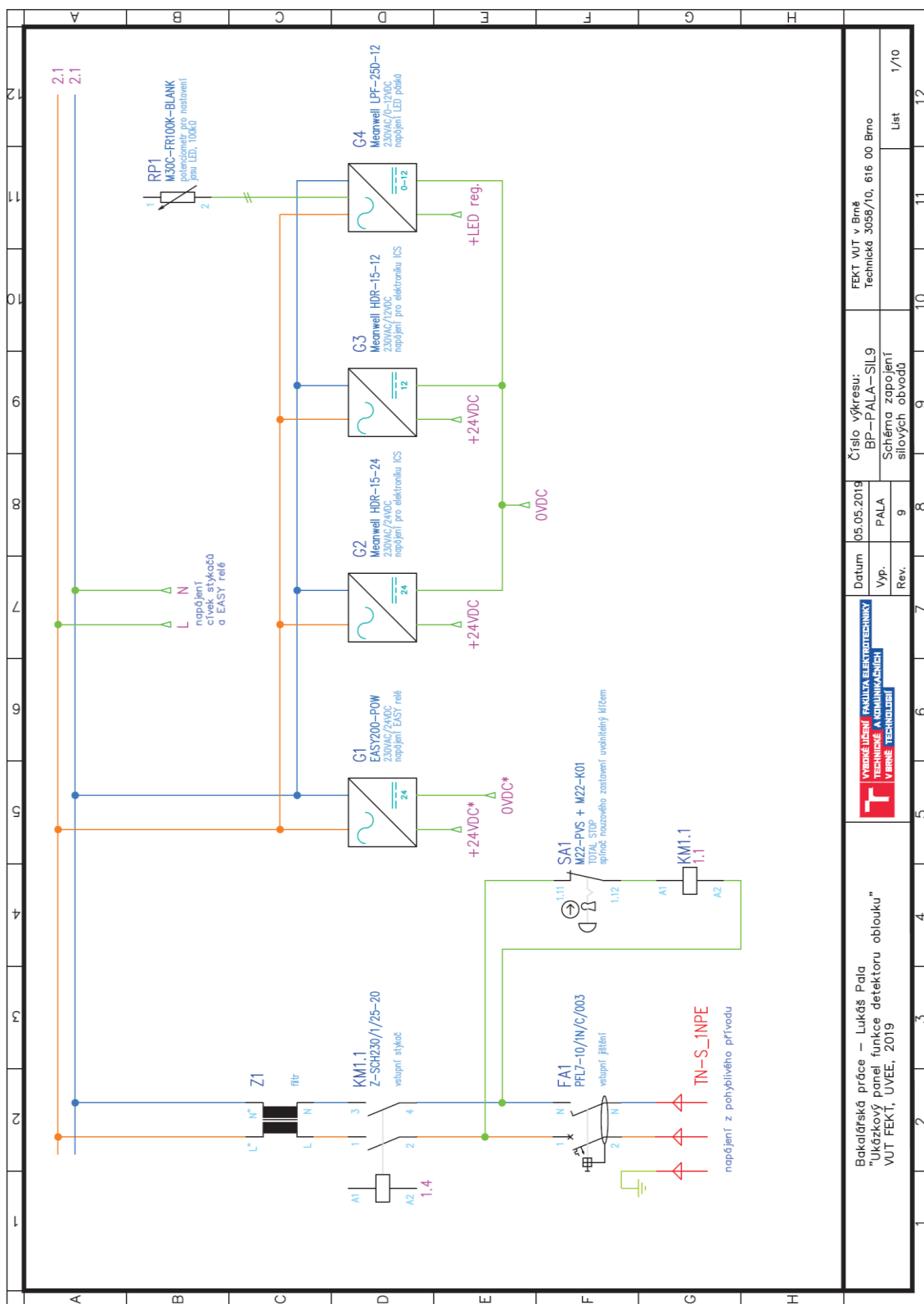


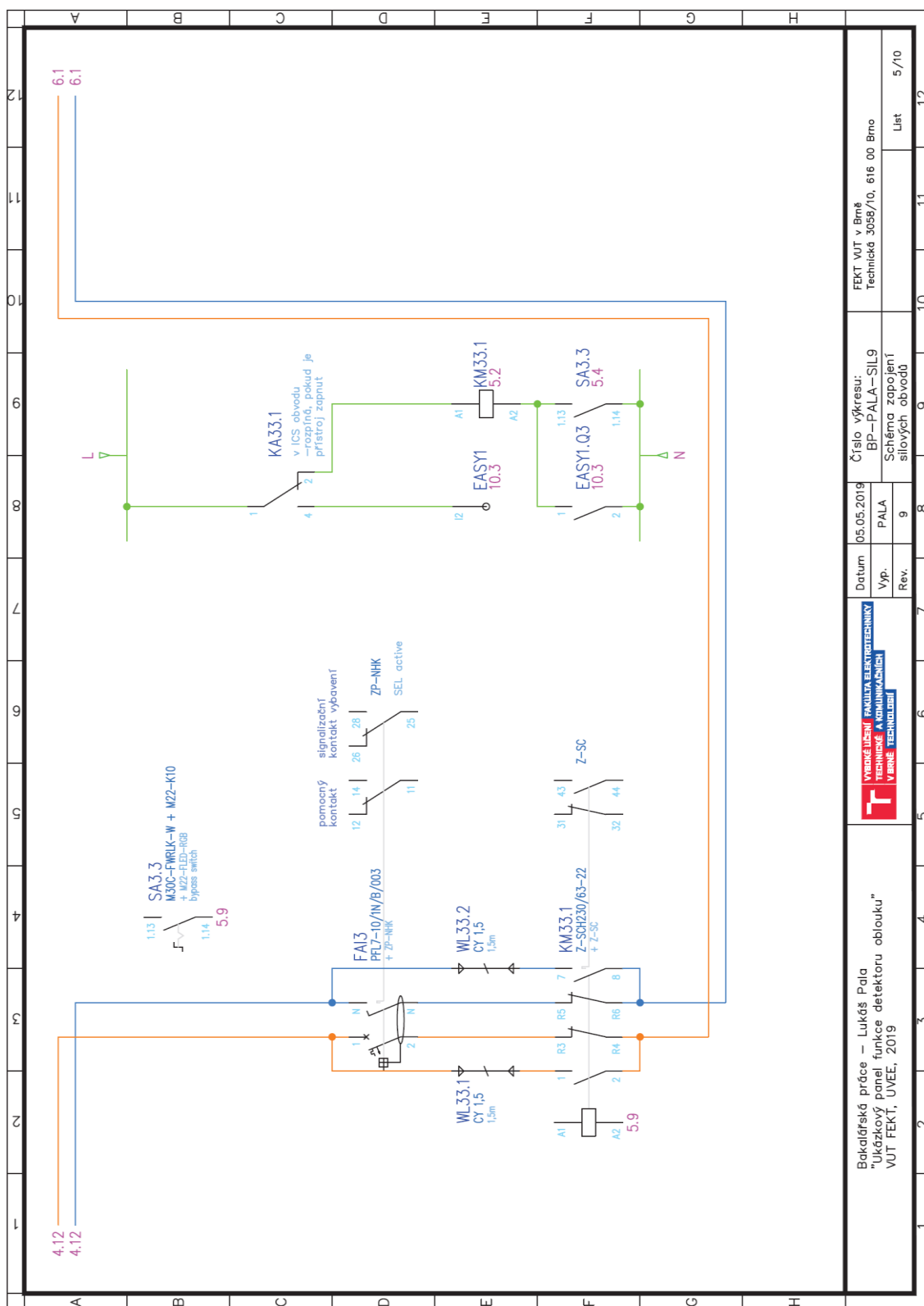




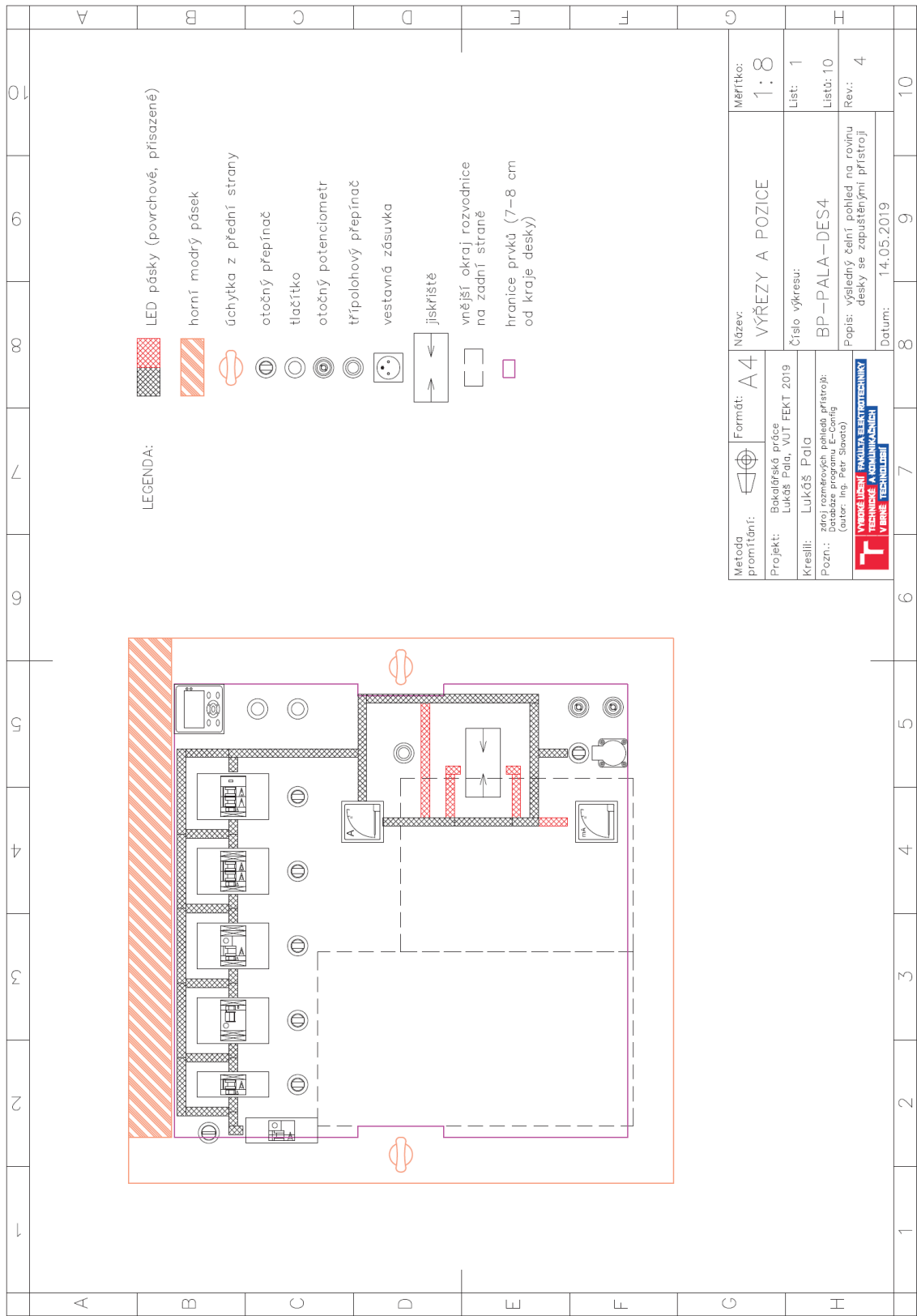
Příloha C: Schéma silových obvodů

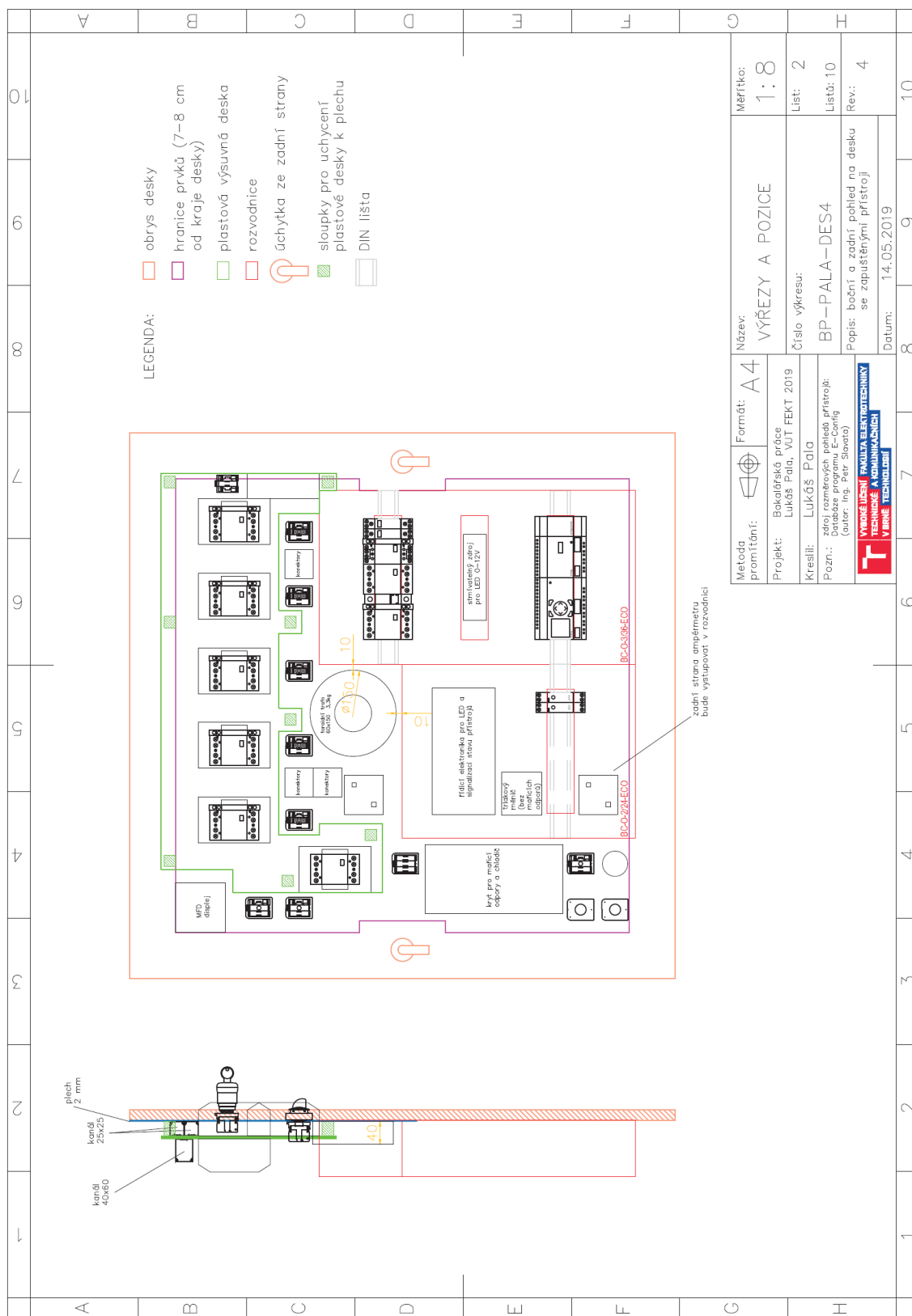
Projekt	Bakalářská práce Lukáš Pala, VUT FEKT, 2019
Popis	Ukázkový panel funkce detektoru oblouku VUT FEKT, UVEE 2019 
Vypracoval	Lukáš Pala
Číslo výkresu	BP-PALA-SIL9
Datum	05.05.2019
Revize	9
Popis výkresu	Schéma zapojení silových obvodů
Listů	10
Poznámka	Grafické značky převzaty z databáze značek firmy Eaton elektrotechnika s.r.o. umístěné na webu http://www.eatonelektrotechnika.cz/cz/znacky-dxf-dwg.html

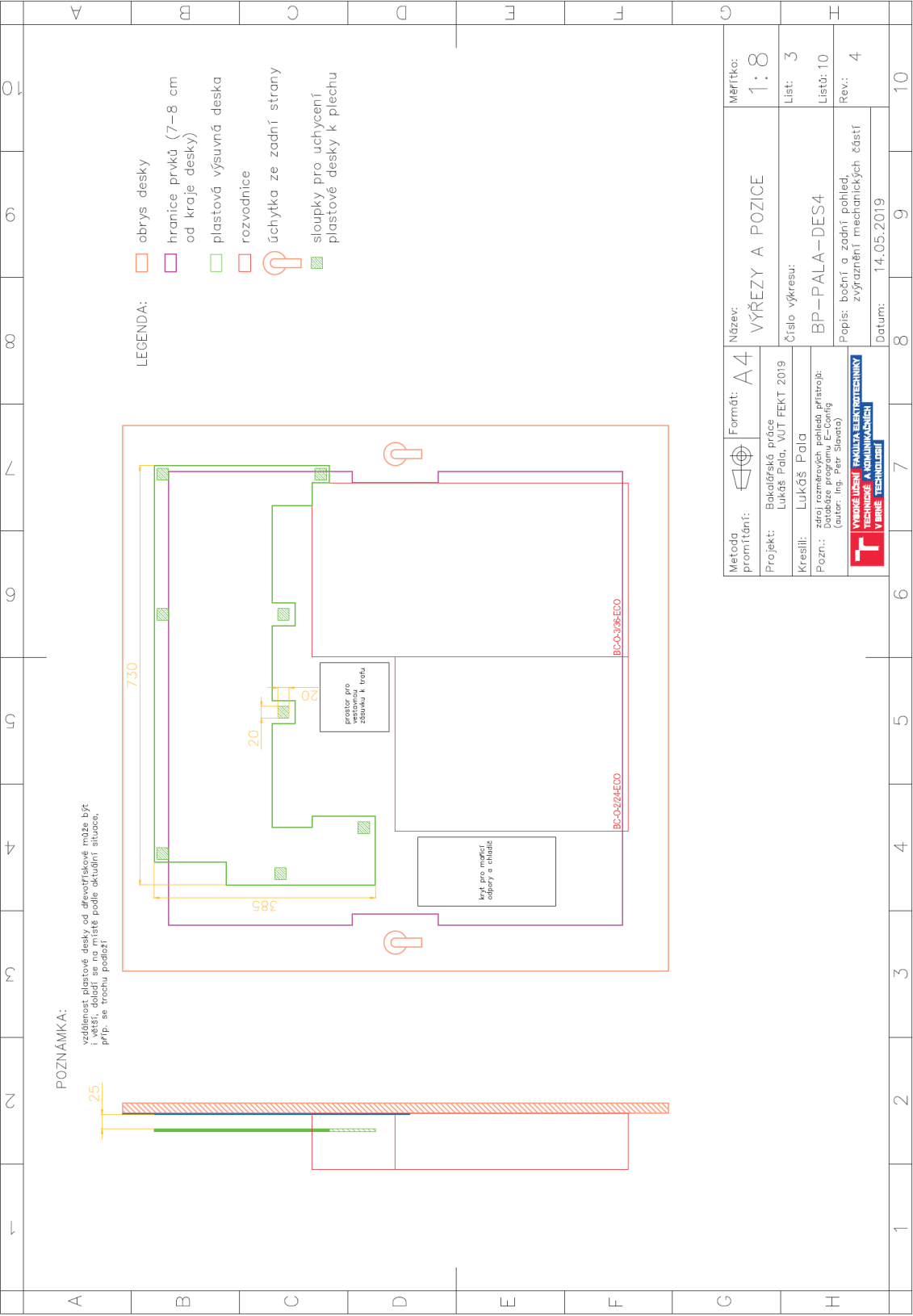




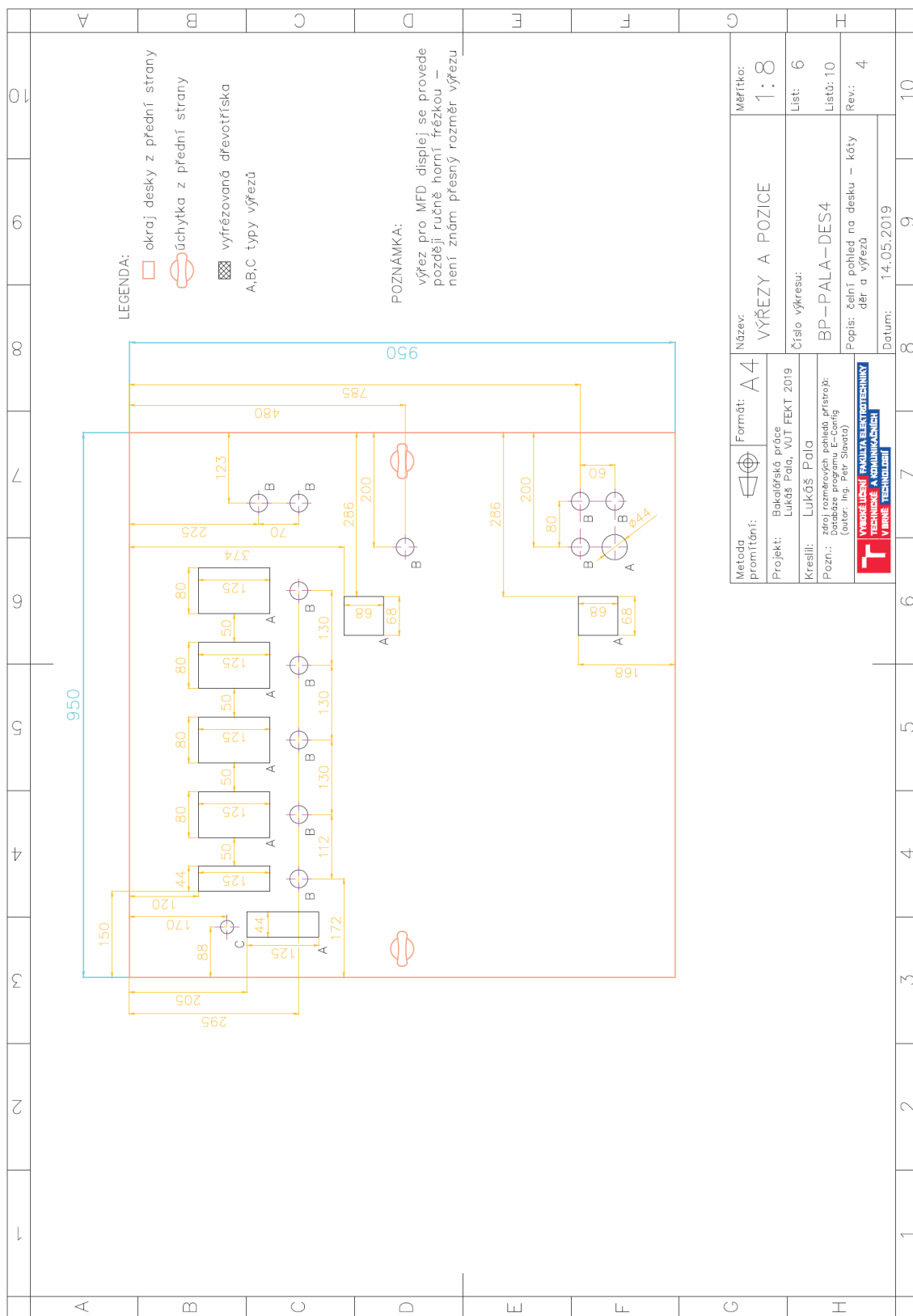
Příloha D: Výkres výřezů







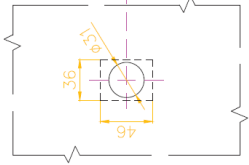
81



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A											
B											
C											
D											
E											
F											
G											
H											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

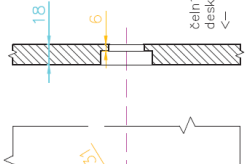
obdélíkový výřez skrz celou desku
– rozměry a umístění podle listu 6

výřez typu A



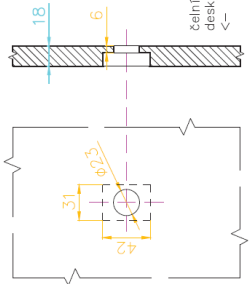
kruhově-obdélíkový výřez pro ovládací prvky
– umístění středu děr podle listu 6
– celkem 11

výřez typu B

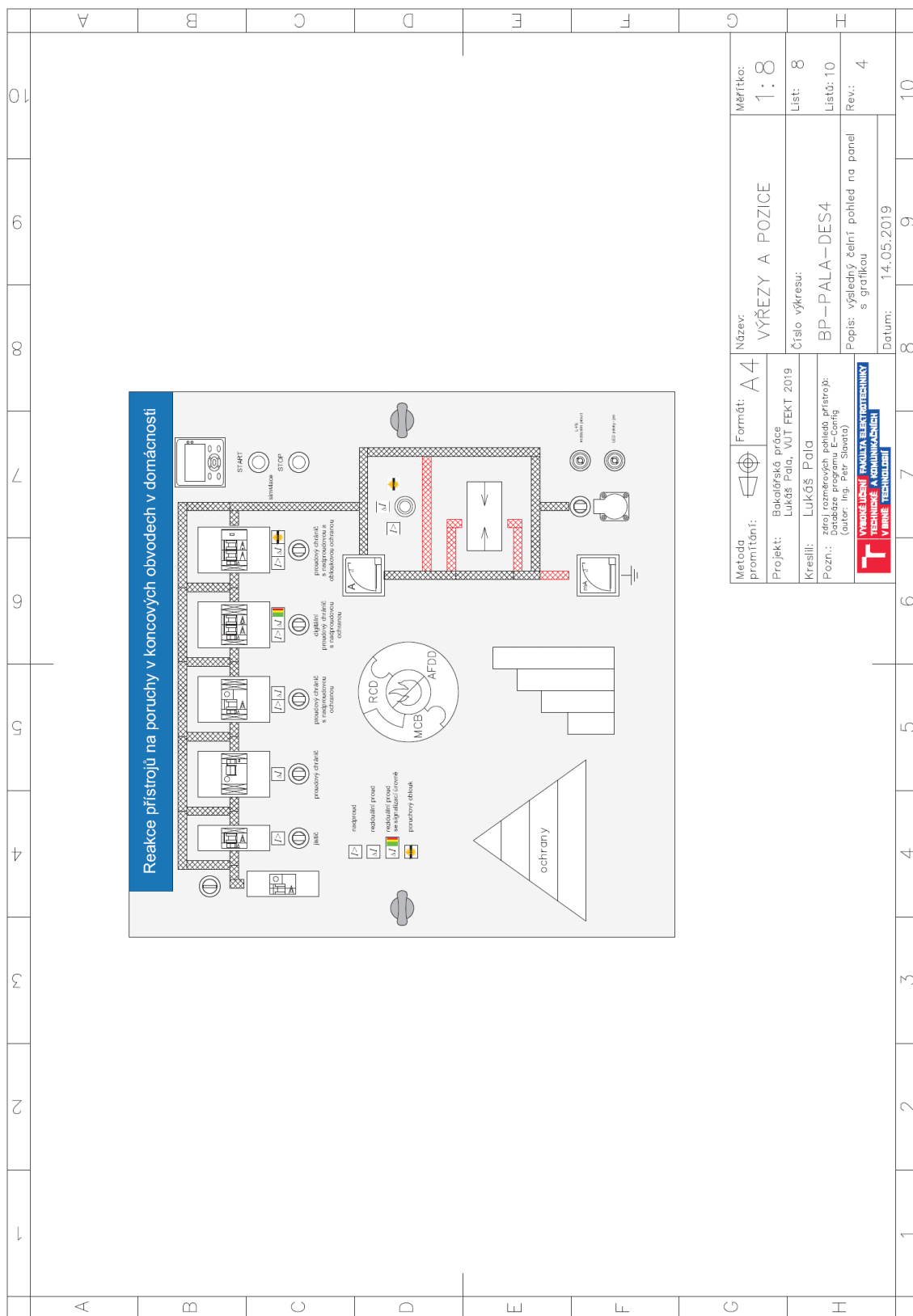


kruhově-obdélíkový výřez
– umístění podle listu 6
– jen jeden

výřez typu C



Metoda promítání:	Formát:	Název:	Měřítko:
	A4	VÝŘEZY A POZICE	1:5
Projekt:	Bakalářská práce Lukáš Pala, VUT FEKT 2019		
Kreslí:	Lukáš Pala		
Pozn.:	zdroj rozměrových pohledů, přístrojů: Database programu E-Config (autor: Ing. Petr Sládek)		
	<div> <div></div> <div>VÝROKÉ LISTY</div> <div>FAKULTA ELEKTROTECHNIKY</div> <div>TECHNICKÉ A KOMUNIKAČNÍ</div> <div>V BRNĚ</div> <div>TECHNOLIE</div> </div>		
		Číslo výkresu:	List: 7
		BP-PALA-DES4	Listů: 10
		Popis: rozměry děr	Rev.: 4
		Datum: 14.05.2019	



[illegible]

POZNÁMKA:

- ilustrativní grafika není na panelu nejdůležitější, pokud nebude místo, lze obrázky vhodně zmenšit
- (na čítenou mez) nebo vypustit horní obrázek lze oříznout (ponechat pyramidu)
- obrázky na tomto listě zvětšeny pro lepší čitelnost

~~grafika nezveřejněna~~

~~grafika nezveřejněna~~

Metoda promítání:	Formát:	A4	Název:		Měřítko:
Projekt:	Bakalářská práce	Lukáš Pala, VUT FEKT 2019	VÝREZY A POZICE		1:8
Kreslí:	Lukáš Pala		Číslo výkresu:		List: 10
Pozn.:	zdroj rozměrů pohledů přístroje: Database programu E-Config (autor: Ing. Petr Šlodič)		BP – PALA – DES4		Listů: 10
			Popis: ilustrativní grafika		Rev.: 4
			Datum:	14.05.2019	
				8	10